

レタス栽培省力化のための
機械化技術の開発に関する研究

山浦 浩二

2018年

レタス栽培省力化のための機械化技術の開発に関する研究

目次

第 I 章 序論	1
1. 研究の背景	1
2. 香川県におけるレタス生産の現状	1
3. 国の示す機械化を前提としたレタスの標準栽培様式	5
4. 既往の研究	6
5. 本研究の目的と論文の構成	11
第 I 章の参考文献	12
第 II 章 半自動多条移植機の開発	14
第 1 節 レタス用半自動多条移植機の開発	14
1. 移植機に関するこれまでの取り組み	14
2. 開発機の目標仕様	14
3. 移植ユニットの開発	15
4. 半自動多条移植機の開発	19
5. まとめ	28
第 II 章・第 1 節の参考文献	29
第 2 節 半自動多条移植機用の移植同時灌水技術の開発	30
1. 研究目的	30
2. 移植直後灌水量がレタスの生育収量に及ぼす影響	30
3. 灌水ユニット付き移植機の開発	33
4. まとめ	36
第 II 章・第 2 節の参考文献	36
第 3 節 半自動多条移植機における移植ユニットの改良	37
1. 研究目的	37
2. 移植ユニットの改良	37
3. 改良移植ユニットの性能試験の方法	40
4. 結果および考察	41

5. まとめ	47
第Ⅱ章・第3節の参考文献	48
第Ⅲ章 トンネル支柱打込み装置の開発	49
第1節 全自動トンネル支柱打込み装置の開発	49
1. トンネル支柱打込み装置に関するこれまでの取り組み	49
2. 開発機の目標仕様	50
3. 試作機の概要	50
4. 基本性能に関する試験	53
5. 作業性能に関する圃場試験	59
6. まとめ	62
第Ⅲ章・第1節の参考文献	62
第2節 軽量型トンネル支柱打込み装置の開発	63
1. 研究目的	63
2. 開発機の目標仕様	63
3. 軽量型トンネル支柱打込み装置の開発	63
4. まとめ	71
第Ⅲ章・第2節の参考文献	72
第Ⅳ章 アップカットロータリを用いた耕うん同時畝立て施肥マルチ敷設機の開発	73
第1節 アップカット耕うん畝立て施肥マルチ敷設機による畝立てとレタス栽培	73
1. レタス用畝立て機に関するこれまでの取り組み	73
2. 開発機の目標仕様	73
3. アップカット耕うん畝立て施肥マルチ敷設機の開発	74
4. まとめ	90
第Ⅳ章・第1節の参考文献	91
第2節 アップカットロータリ耕うん畝立て施肥マルチ敷設機による畝立て作業 能率	92
1. 研究目的	92
2. アップカット耕うん畝立て施肥マルチ敷設機の作業能率（試験1）	92
3. 枕地処理方法の改善による作業能率向上法の検討（試験2）	96

4. まとめ	100
第IV章・第2節の参考文献	100
第3節 アップカット耕による畝立てが地温と冬どりレタスの収量に及ぼす影響	101
1. 研究目的	101
2. 供試機と試験区	101
3. 結果および考察	105
4. まとめ	115
第IV章・第3節の参考文献	116
第V章 総合考察	117
第VI章 結論	119
謝辞	124
摘要	125
SUMMARY	127
基礎となる公表論文	129

第 I 章 序論

1. 研究の背景

本研究は香川県内を対象として 1995 年から 2013 年まで実施したもので研究開始の動機となる背景は 1995 年前後を対象とする。

香川県におけるレタス栽培は 1960 年にカボチャの前作として導入されたのが始まりで、県西部を中心に温暖な気候を生かして産地が形成され、香川県を代表する重要な品目となっている。その生産の特徴は水稲後作の 1～3 月出荷を中心とする冬どり栽培である点にあり、長野県等の主要産地が生産していない期間に京浜・阪神等の市場で高い評価を得ている。しかし、生産は人力の手作業によるところが多く、担い手の減少と高齢化が進行するなかで、本研究開始時の 1995 年には既に生産の減少や産地の衰退が想定されていた。

一方、農林水産省は 1994 年から 6 か年計画で水稲栽培に比べて機械化が遅れている野菜栽培において機械化促進のための標準栽培様式⁽¹⁾を定めるとし、レタス栽培においては畝幅が 1 畝 1 条で 0.45m、同じく 1 畝 2 条で 0.90m が候補となった。しかし、香川県内の栽培様式は水稲後の高畝広幅栽培で、畝幅は 1 畝 4 条の 1.8m であるため、農業機械メーカーにより標準栽培様式に適合する機械が開発されても香川県内には導入が困難であることから、独自に省力化技術を開発する必要性が生じた。

以下、本研究の背景について具体的に述べる。

2. 香川県におけるレタス生産の現状

2.1 生産の推移

香川県内のレタス作付面積は 1995 年に 1,530ha 栽培され、その生産量は 40,900t で全国第 3 位の地位にあった⁽²⁾。1995 年までは増加傾向であったが、その後、2000 年には作付面積 1,410ha、生産量 33,500t となり、それぞれ 1995 年の 92.1%、81.9%に減少した(図 1-1 参照)。生産が減少傾向となった原因の一つは基幹的農業従事者の減少と高齢化にあり、特に、高齢化率(65 才以上)は 2000 年において 65.5%と 60%を越えるまでに至っている(図 1-2 参照)。

2.2 香川県産レタスの特徴

香川県産レタスの特徴はその出荷が 12～4 月の冬どりが中心である点にあり、京浜・阪神市場へのこの時期の主要な出荷産地となっている(図 1-3 参照)。その生産は、複数

の作型で構成され、8月の播種、育苗から始まり5月の圃場片付けまでの10か月に及び、耕うん畝立てと調製荷造り時の包装作業以外は人力に頼っている現状であった。なかでも11～12月は年内出荷のための収穫作業や1～3月どりのためのトンネル設置作業、3～4月どりのための移植作業が重なり、厳しい寒さのなかで労働時間はピークとなる(図1-4参照)。このピークが作付け規模を決定づける要因ともなっており、省力化、軽作業化技術の開発が急務な課題となっていた。

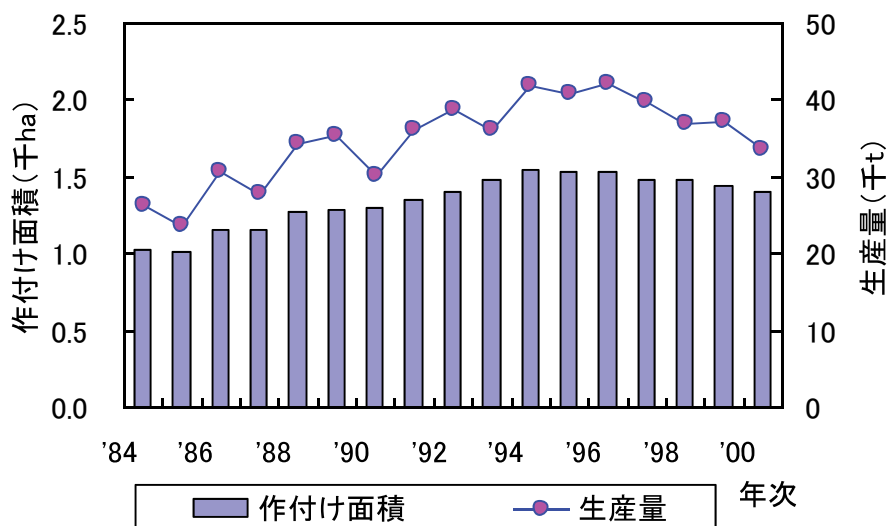


図1-1 香川県産レタスの生産の推移
注) 農業センサスによる。

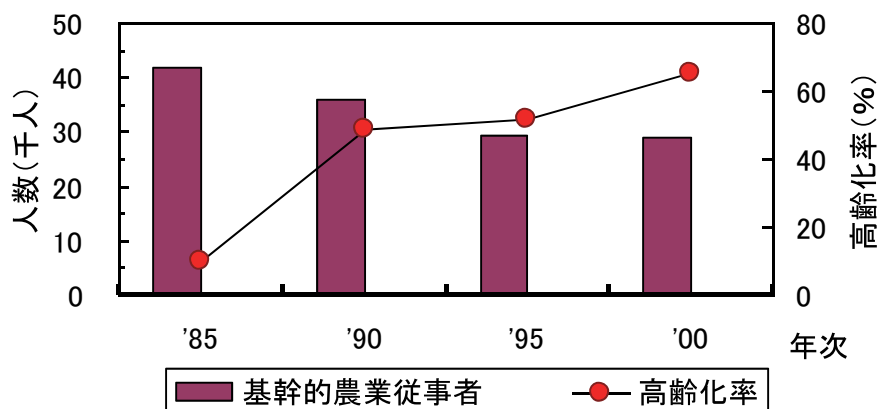


図1-2 香川県における基幹的農業従事者数と高齢化(65歳以上)率
注) 農業センサスによる。

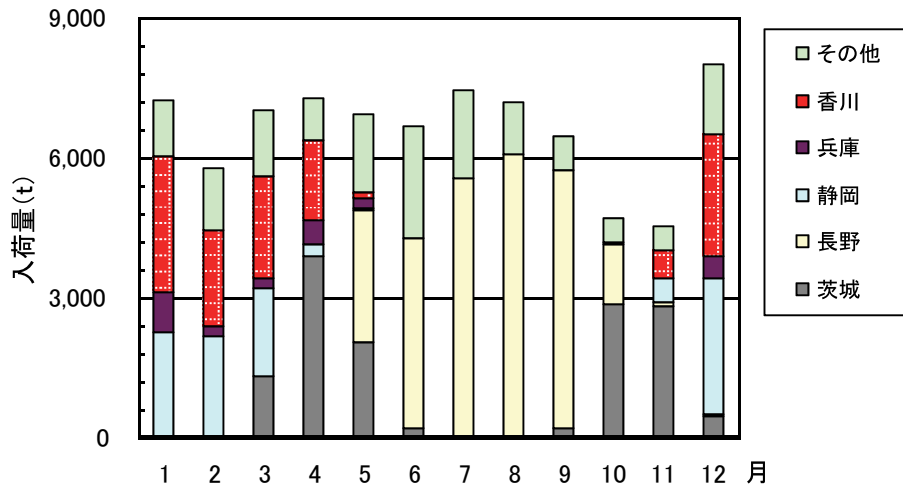


図1-3 東京中央卸売市場のレタス入荷量(1998)

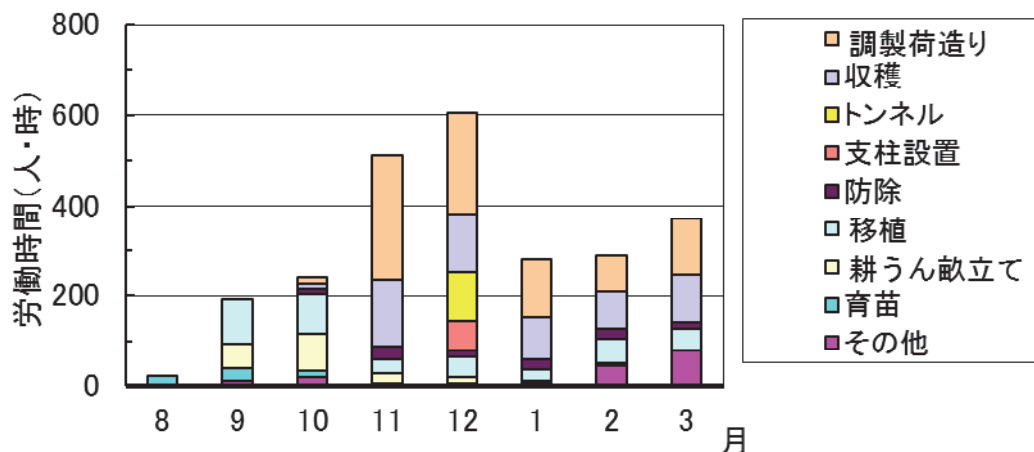


図1-4 レタス栽培農家の月別投下労働時間

注)香川県下における作業員4名、栽培規模2haでの事例
香川県三豊、仲多度農業改良普及所(1995)による。

2.3 レタス生産に係る労働時間

図1-5, 6に香川県三豊、仲多度農業改良普及所(現:中讃, 西讃農業改良普及センター)が1995年に調査したレタスの収穫時期別・作型別の10a当たり延べ労働時間⁽³⁾を示した。10a当たり延べ労働時間を最も多く要する作型は1月中~3月収穫の作型で219人時/10aであった。これはトンネル被覆を要するため年内どりに比べて多くなったものであった。なお、4月以降収穫の春どり作型の場合においても移植直後から生育初期においてはトンネル被覆が必要であるが、この作型では、トンネルは改めて設置するの

はなく、前作のものを撤去せずにそのまま利用するため、作畝の時間も含めてトンネル設置に要する時間は省略される。しかし、既設支柱があると移植作業に手間取ったり、3月にはトンネルの換気日が多くなり、トンネルの開閉作業に要する時間が増加するため、年内どりよりは多くの時間を要している。

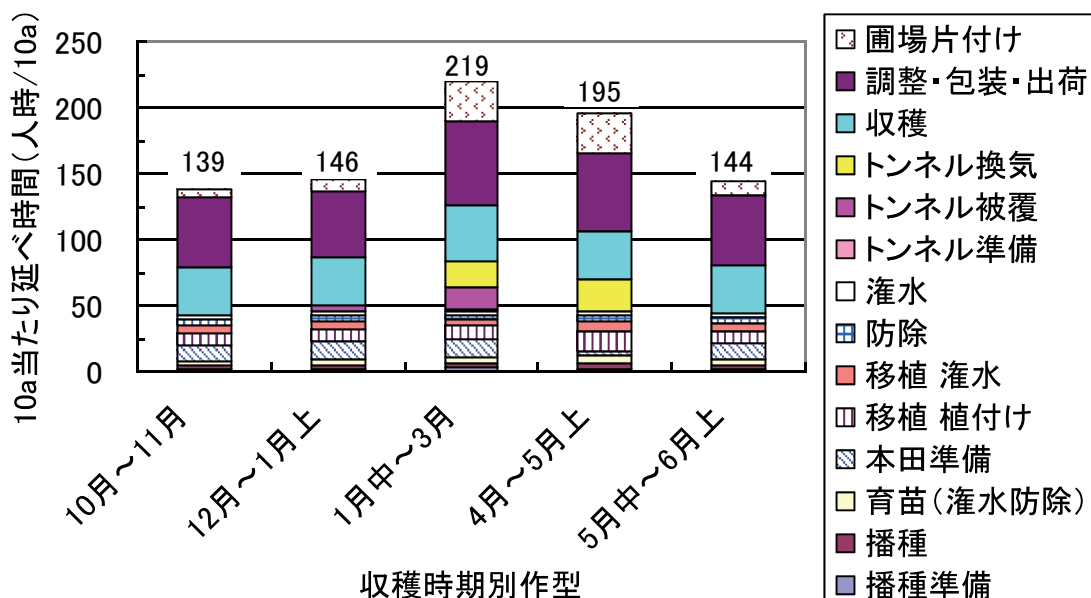


図1-5 香川県産レタスの収穫時期別の10a当たり延べ所要時間

注) 三豊，仲多度農業改良普及所1995年調べ。

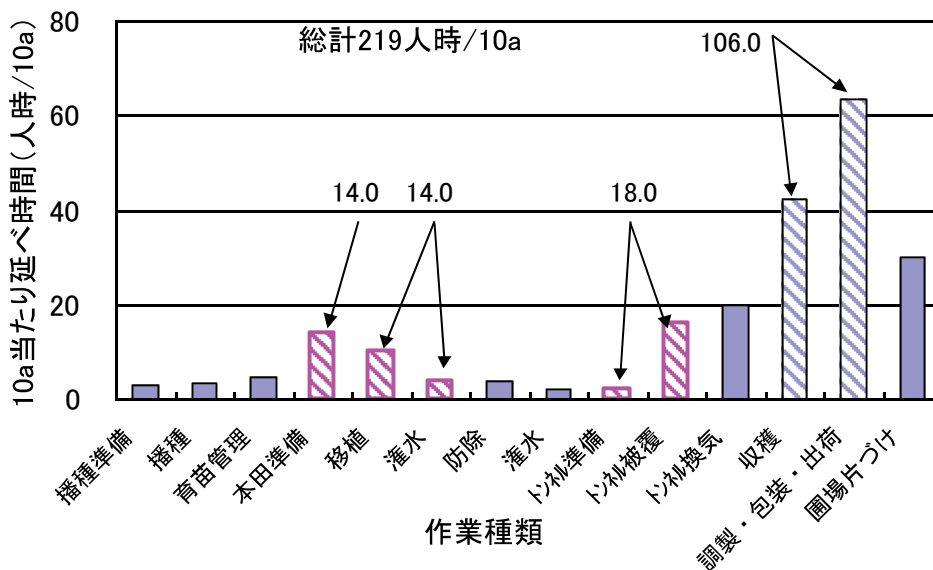


図1-6 1月中旬～3月どりレタスの生産にかかる労働時間の事例

注) 香川県三豊，仲多度農業改良普及所調べ(1995)。

栽培面積2ha，従事者4名による。

2.4 生産者の機械化を要望する作業

図 1-7 に図 1-6 の調査に併せて実施した機械化を要望する作業の調査結果⁽⁴⁾を示した。最も要望の多かった作業は調製・包装・出荷で 27.1%であった。次いでトンネル被覆 23.5%，移植 14.0%，畝立て 13.0%の順であった。このうち、調整・包装・出荷については、既に、JA の支援作業の一つとして取り上げられていたので開発研究の対象から除外し、移植、畝立て、トンネル設置の 3 つ作業が早急に省力化、軽作業化すべき課題であると思われた。

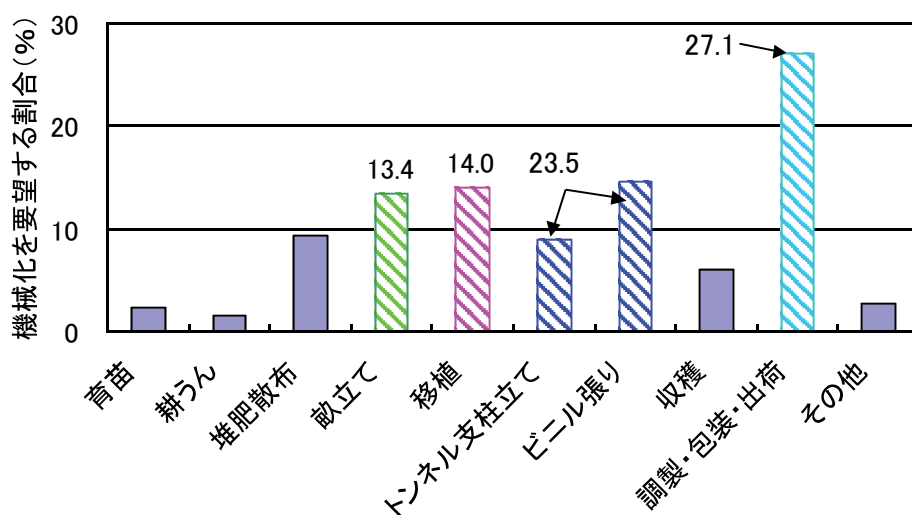


図 1-7 香川県下レタス生産農家の機械化を要望する作業

注) 三豊，仲多度農業改良普及所調べ(1995)，レタス栽培農家 172 戸の複数回答可とする調査による。

3. 国の示す機械化を前提としたレタスの標準栽培様式

野菜は多種類で個々の作付面積が小さく、地域ごとに栽培様式が多様であるため、生産現場に機械化のニーズがあっても栽培様式の違いにより効率的な機械利用が困難であるばかりか、多様な栽培様式に対応した農業機械を開発することは困難、あるいは、できたとしても割高なコストになるなど機械化が進みにくい状況にある。このことに鑑み農林水産省では、1994 年から 6 年を掛けて野菜の栽培様式標準化推進会議を通じ、11 品目の標準的な栽培様式を決定した。この会議で決定したレタスの標準栽培様式は表 1-1 に示すとおり香川県内の栽培様式と異なっていた⁽¹⁾。香川県内のレタス産地に栽培様式を標準栽培様式とする変更の可否について所轄の農業改良普及所や JA がレタス生産部会等に尋ねたところ、現有するトンネル資材等を変更する必要が生じるため、困難であるとのことであった。

以上のことから、レタスにおいては香川県内の栽培様式に適合する機械・装置の開発は独自に開発する必要性が生じた。

表 1-1 レタスの栽培様式

区分	1畝条数	畝幅	畝高	条間	株間
	-	cm	cm	cm	cm
標準栽培様式	1条	45	0~25	-	25~40
	2条	90	0~15	40~45	25~40
香川県内栽培様式	3条	150	20	30	35
	4条	180	20	30	35

注) 新農業機械実用化促進株式会社による試料から作表。

4. 既往の研究

4.1 移植作業

移植作業については、市販の1条全自動移植機や1条半自動移植機の香川県内への適応性について検討した^(5, 6, 7, 8)。両機種は輪距調整が可能で、畝幅1.8mの1畝4条栽培にも利用できる。図1-8, 9に外観を示した。試験の結果、レタス苗や畝条件が適合すれば移植精度は高く、作業能率は全自動2.6h/10a、半自動2.8h/10aとなり、慣行手作業11.1h/10aの4.0~4.2倍であったが、1条移植機では1畝4条のレタスを移植するには1畝を4回走行する必要があるため、走行する畝溝は隣接畝を勘案すると8回通過する必要があるため、枕地での旋回数が多くなり、降雨後など畝溝が軟くなっている場合では機体が沈下して走行が不安定になり移植精度が低下しやすいことや全自動移植機では根鉢強度指数（根鉢付きのセル苗を0.5mのか所からコンクリート面に落下させた場合の質量前後比率）が90%以上で草丈が7cm以下である必要があるため降雨などで移植作業が遅延した場合は全自動移植機が利用できなくなること⁽⁹⁾などから香川県内での普及は困難であると考えられた。

また、2条植えの移植機としては図1-10に示す全自動のものが農業機械メーカーで試作され、香川県内への適用が検討されたが、1条型よりも機体質量と価格が上昇して枕地での旋回操作は1条植えより難しくなり、オペレータへの負担はさらに大きくなるなど普及性は認められなかった。他に、四国農業試験場では2条植え半自動の人力歩行式簡

易移植機が試作された⁽¹⁰⁾。また、中国農業試験場では4条植え半自動の移植機として電動畝間走行台車に4基の移植ユニットを搭載したセル成形苗用簡易移植機が試作された^(11,12)。しかし、これらはいずれも実用には至らなかった。



図1-8 1条全自動移植機(K社KPY-3MD)



図1-9 1条半自動移植機(I社PV101)



図1-10 2条全自動移植機(K社試作機)

4.2 トンネル被覆作業

レタスのトンネル被覆は、平均外気温が10～12℃以下になると必要になる^(13,14)。香川県内では12月上旬がこの時期に該当する。香川県内でのトンネル被覆の特徴は、レタス生育期間中に換気を行うため、被覆資材の固定に土を使わずペグと紐を利用した固定法としている点にある。この方法は、被覆資材を複数年利用する上でも重要な方法で

ある。仲多度，三豊農業改良普及所による調査事例からみた慣行手作業によるトンネル被覆作業の10a当たり労働時間は前掲の図1-6のとおり18時間であり，著者らが1999年に調査した結果でも図1-11に示すとおり16.1時間を要している。作業の内訳と順序はトンネル支柱設置→被覆フィルム展張→展張被覆フィルムの位置修正→ペグ仮設置→紐掛け→ペグ増打ちであり，作業者は，作業方向が進行方向に対して直角方向となるため，体を90度ねじりながらの作業が多くなり，特に，支柱設置は図1-12に示すとおり支柱を畝肩に打込む際，支柱に体重をかける必要から支柱を握る手や腕，肩，腰に負担の大きい作業となっている。

トンネル被覆作業の機械化に関しては，1995年時点で支柱打込みとビニル展張を同時に行うことができるM社のMMT120が開発されていた。本機はトラクタ半直装式で，U字型鋼管製支柱を油圧シリンダの力で打ち込み，同時にビニルを展張してその裾部を土で止めてゆく方式のもので，70本の支柱を支柱タンクにあらかじめ整列して装填しておき，それを連続作業で打込み，さらにビニルで被覆する方式である。福岡県農総試が調査した畝幅1.1mのリーフレタスへ適用した事例では，2人作業で作業能率は3.2時間/10aとなり，人力方式の8倍以上であったとしている⁽¹⁵⁾。しかし，香川県内への導入はトラクタ輪距をレタス畝幅の1.8mに適合させることができないことなどのため困難であると思われた。

これらのことから，香川県内のレタス栽培に適合する支柱打込み装置は新規に開発する必要があると考えられた。

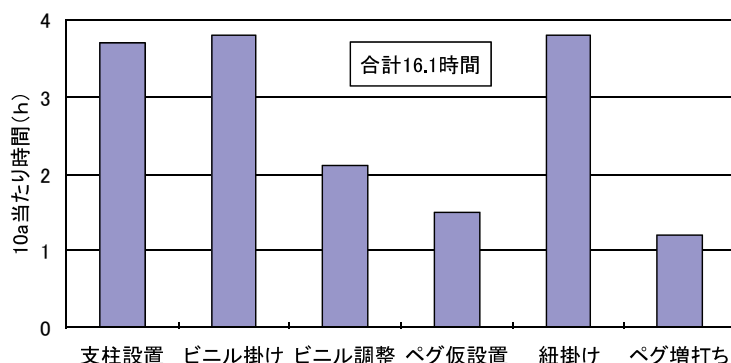


図1-11 慣行人力によるトンネル被覆作業の延べ労働時間
注) 1999年著者等による香川農試内での調査結果。

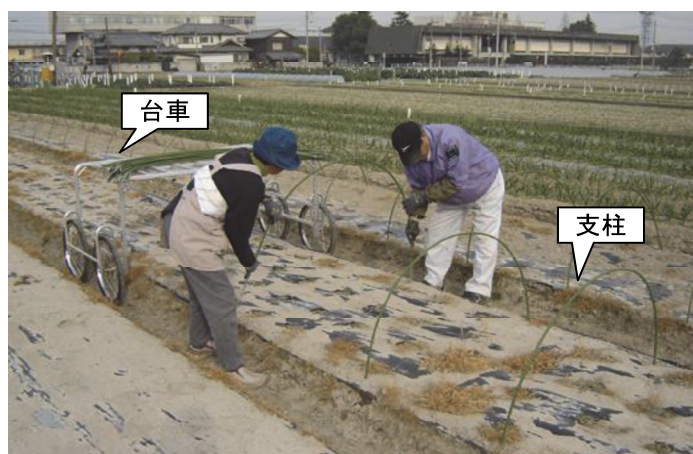


図 1-12 畝間走行台車を利用した慣行手作業による支柱設置作業

4.3 畝立て作業

慣行の畝立て方法は、水稻後圃場において土壌改良材と堆肥、肥料を散布した後、乗用トラクタにより 2～3 回平面耕うんし、その後、図 1-13 に示すように一定間隔で展張したマルチフィルム上に一輪管理機で 2～3 回に分けて培土してマルチフィルムを固定するとともに、畝溝を付け畝立てする。このように事前の耕うんやマルチフィルム上への培土を複数回に分けて行う理由は、前作の水稻作における稲株を粉碎したり稲藁や堆肥を畝内に精度良く鋤込むためと、畝天場に細かく砕土された土をなるべく均一な厚さに培土するため、いずれもレタス苗の早期活着と収量を確保する上で重要とされている⁽¹³⁾。しかし、作業工程を分けて行う慣行の畝立て法では多くの労力を要することや各工程の途中で降雨があると畝立て精度が低下したり遅延することがあった。

1995 年時点での畝立て方法には、畝立てマルチ敷設機を二輪管理機や乗用耕うん機に搭載して畝立てする方法が既に始まっていた。しかし、香川県内のレタス栽培は有機肥料栽培が主となっており、しかも、2 種類の有機質入り肥料をそれぞれ一つは畝中、もう一つは畝表面に施肥している。このうち、畝立てと同時に畝表面に均一施肥する施肥機が当時はなかったため、畝立てとマルチ敷設作業を同時化できず、マルチ敷設機能が利用されない場合が多かった。

そこで、既存の畝立てマルチ敷設機を乗用耕うん機に搭載し、畝立てと同時に畝中と畝表面に施肥し、同時にマルチ敷設を行う施肥畝立てマルチ敷設機を既存機の組み合わせにより試作し（図 1-14 参照）、圃場試験を行った⁽¹⁶⁾。その結果、肥料タンクの容量が小さいため肥料の補給回数が多くなったものの、堆肥と土壌改良材の散布から事前の平面耕うんと畝立て、畝表面施肥、マルチ敷設までの合計の作業能率は 4.8h/10a となり、

慣行の一輪管理機を使う場合の3倍の能率となることが確認できた。しかし、本試作機の利用によっても畝立て前の事前耕うん回数は一輪管理機を使った慣行の畝立て法と同じで事前に2～3回の平面耕を行う必要があった。さらに、本研究の実施期間中に新しく開発した半自動多条移植機の移植精度の向上に関する試験研究のなかで、移植精度の向上には半自動多条移植機自体の改良とは別に畝立て精度を高位に安定させることも重要であるとの知見を得た。

これらのことから、新たに高能率で精度の高い畝立てが可能な作業機が必要であると考えられた。



図1-13 一輪管理機を用いた畝立て作業

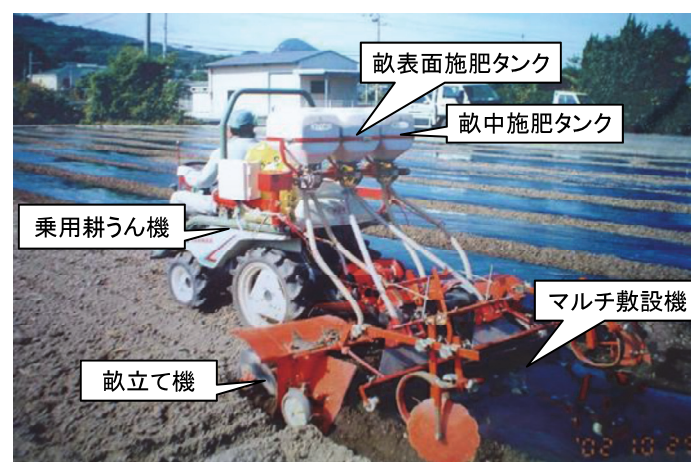


図1-14 既存の畝立てマルチ敷設機に2種の肥料を畝内と畝表面に同時施肥できる施肥機を搭載した試作機

注) 7.5kW 乗用耕うん機に搭載したもの。搭載機器はいずれも既存機で施肥機は部分的な改造を施している。

5. 本研究の目的と論文の構成

5.1 本研究の目的

水稲後圃場の高畝広幅栽培により、主として1～3月の冬どり出荷を特徴とする香川県内のレタス生産において、基幹的農業者の高齢化や減少により産地が衰退して行くことへの対策として、機械化による省力化や軽作業化を目的に、生産者の要望が多い3つの技術開発を行う。その1つは移植機の開発であり、2つはトンネル支柱打込み装置の開発である。そして3つはアップカッター利用による耕うん畝立て施肥マルチ敷設作業機の開発である。これら開発機の有効性を性能試験や栽培試験により明らかにする。

5.2 本論文の構成

図1-15に本論文の各章の関係を示した。

第I章では、香川県におけるレタス生産の現状と作業技術面における課題について、優先的に取り組む3つ研究課題を対象に慣行作業法や既往の研究成果を考察しつつ、市販機械・装置の香川県内への適用試験の結果を交えて示し、本研究の目的や本論文の構成について述べる。

第II章では、第1節(2001～2002年)で移植作業の省力化を図るため開発した2機種種の移植機について述べる。第2節(2002～2003年)では開発した移植機による移植同時灌水作業を前提に移植直後に必要な灌水量について栽培試験の結果を述べ、移植同時灌水作業機について述べる。さらに第3節(2003～2004年)では開発した移植機の移植精度の低下原因を明らかにし、移植精度向上のための移植ユニット改良について述べる。

第III章では、第1節(1995～1999年)でトンネル掛け作業における支柱設置作業の省力化を図るため開発した全自動支柱打込み装置について述べる。第2節(2009～2010年)では新たに開発した軽量型トンネル支柱打込み装置について述べる。

第IV章では、第1節(2008～2010年)で夾雑物鋤込み性と碎土性に優れるアップカッター利用による耕うん畝立て施肥マルチ敷機を開発し、機械化移植精度との関係やレタスの生育収量について述べる。第2節(2010～2011年)では当該開発機の作業能率を慣行畝立て法と比較するとともに枕地での旋回法の改善とその効果について述べる。第3節(2012～2013年)ではアップカッター耕による畝立てが地温と冬どりレタスの生育収量に及ぼす影響について述べる。

第V章では、開発した個々の技術を組み合わせてた新作業体系について慣行体系と比

較して述べる。

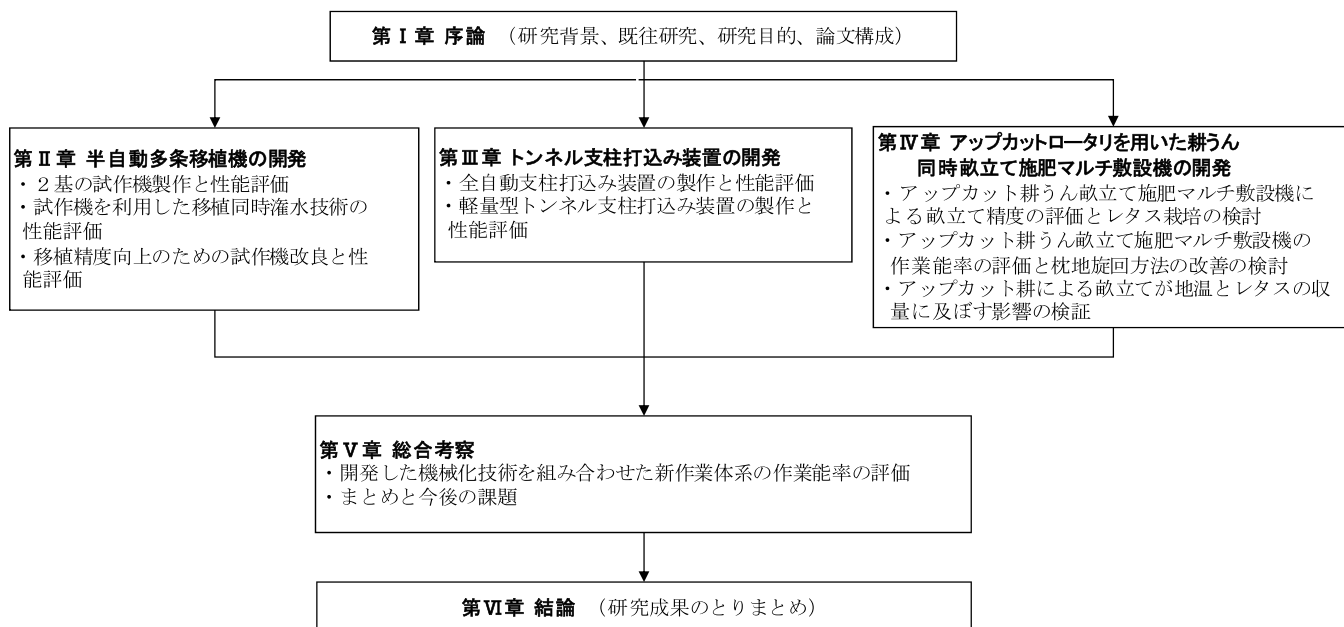


図1-15 本研究の各章の関係

第I章の参考文献

- (1) 機械化のための標準的様式と規格，新農業機械実用化促進株式会社，
<http://www.shinnouki.co.jp/youshiki/saibaiyosiki.html>
- (2) 中国四国農政局統計部，香川県農林水産統計年報，一昭和60年～平成12年一，岡山県
- (3) 香川県三豊，仲多度農業改良普及所，1996，レタス作型別10a当たり労働時間と生産資材費，(香川農試・農業機械に関する試験成績書) 29
- (4) 香川県三豊，仲多度農業改良普及所，1996，レタス栽培農家意向調査結果，(香川農試・農業機械に関する試験成績書) 33～39
- (5) 山浦浩二・西村融典，1993，レタス移植機の移植精度と生育収量，香川農試・農業機械に関する試験成績書，23～24
- (6) 山浦浩二・西村融典，1995，レタス栽培の軽作業化技術の開発～1条全自動移植機利用を前提とした4条栽培法～，香川農試・農業機械に関する試験成績書，19～20
- (7) 山浦浩二・西村融典，1996，レタス生産省力化技術の開発・普及～移植作業のシステ

- ム化～，香川農試・農業機械に関する試験成績書，19～20
- (8)十川和士・山浦浩二・西村融典，2000，レタス生産省力化技術の開発・普及～1条全自動移植機の現地実証～香川農試・農業機械に関する試験成績書，17～18
- (9)岡田彰夫・山浦浩二・十川和士・西村融典，2002，レタスのセル成形苗の性状と全自動移植機への適応性，香川農試研究報告，55，25～32
- (10)長崎裕司，猪奥康治，宮崎昌宏，田中宏明，1997，レタス用簡易移植機の開発，農業機械学会，第58回大会講演要旨，73～74
- (11)土屋史紀，岡崎紘一郎，熊倉裕史，尾島一史，前岡邦彦，吉田智一，亀井雅浩，1999，セル成形苗用簡易移植機の開発，農業機械学会，第60回大会講演要旨，259～260
- (12)土屋史紀，田中和夫，尾島一史，石田茂樹，吉田智一，亀井雅浩，2001，セル成形苗用簡易移植機の開発(第2報)，農業機械学会，第62回大会講演要旨，33～34
- (13)香川県主要野菜栽培指針，2002，レタスの栽培，香川県，275～302
- (14)牛田 均，2004，レタスにおけるトンネル被覆の方法と温湿度環境・生育，農業技術大系野菜編・第6巻，農文協，258～261
- (15)藤井秀昭，1993，トンネルマルチの利用，機械化農業，1993(9)，53～55
- (16)十川和士・山浦浩二・西村融典，2002，畝立てマルチ同時施肥技術の開発，香川農試・農業機械に関する試験成績書，17～18

第Ⅱ章 半自動多条移植機の開発

第1節 レタス用半自動多条移植機の開発

1. 移植機に関するこれまでの取り組み

著者ら^(1,2,3,4)は、市販の1条型全自動移植機や1条型半自動移植機の香川県内への適応性について農家圃場で検討した結果、所定の苗条件と圃場条件を満たせば移植精度は高く、作業能率は全自動型 2.6h/10a、半自動型 2.8h/10a となり、慣行手作業 11.1h/10a の 4.0～4.2 倍となるが、香川県内への普及については以下の点から困難であると考えられた。

- (i) 1条型の供試機で1畝4条のレタスを移植するには1畝を4回走行する必要がある、走行する畝溝は隣接畝を勘案すると8回通過する必要がある。このため、降雨後など畝溝が軟くなっている場合では機体が沈下して走行が不安定になることがあること。
- (ii) 機体質量が 180～280kg と大きく、かつ、歩行形であるため旋回回数が多いとオペレータの負担が大きくなること。
- (iii) 全自動移植機では、育苗中の欠株は移植時の欠株になること。また、適応苗は標準トレイを使って育苗したセル成形苗に限られること。
- (iv) 全自動移植機では、苗の根鉢強度指数（苗を高さ 0.5m の高さからコンクリート面に落下させた場合の質量前後比率）90%以上、草丈 7cm 以下である必要がある⁽⁵⁾、適用条件の範囲が狭いこと。
- (v) 1条型では1畝4条の株間と条間を均一に保った「千鳥植え」ができないこと。

1畝4条のレタス栽培に適する新たな移植機に関する開発研究としては、長崎ら⁽⁶⁾の2条型半自動の人力歩行式簡易移植機や土屋ら^(7,8)のリーフレタスを対象とした4条型半自動のセル成形苗用簡易移植機があったが、これらはいずれも実用には至らなかった。

このため、高畝広幅1畝3～4条のレタス栽培に適合する半自動式（苗供給が人力式）で、移植部の1行程中に3～4個の苗を同時に移植できる半自動多条移植機を開発することとした。

2. 開発機の目標仕様

作付け規模が1ha以下の生産者が利用することを想定して開発機の目標仕様を次のように定めた。

- (i) 畝幅 1.5～1.8m で1畝3～4条のレタス苗を千鳥配置に移植できて、高齢者、女性に

も操作が容易な歩行形半自動式であること。

(ii)適用苗はセル成形苗で、セルトレイのサイズは 128～220 穴、セル形状は特に標準トレイでなくても良く、苗の草丈が 10cm のものにも利用できること。

(iii)植付け深さが均一で安定していること。

(iv)移植直後の灌水作業を移植作業に同時化できるよう、別に検討する灌水ユニットが搭載できること。

3. 移植ユニットの開発

3.1 移植ユニットの要件

機械化移植を前提とするレタス畝は幅や高さが均一であることが望ましい。特に畝高さは移植精度に直接影響する要因であり、多条同時移植を目標とする場合は個々の移植ユニットが個別に畝高さを感知し、植付け深を一定にできる機能が望まれた。他に、適用できるセル苗の大きさが草丈 10cm の大苗でも可能とすることから移植カップはそれに対応できる大きさであること、苗供給を人力による半自動式とすることから苗投入筒は作業者がレタス苗を容易に供給できる形状とすることが望まれた。

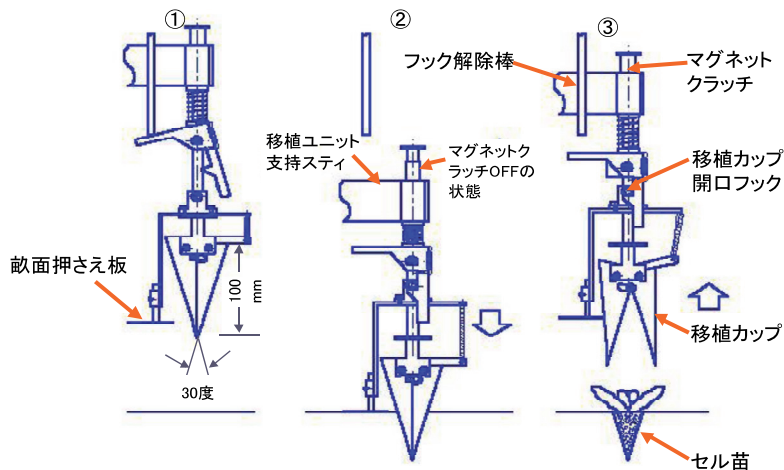
3.2 移植ユニットの試作

上記の要件のもと、移植ユニットを試作した。図 2-1-1 にその外観と作動概要を示した。

試作した移植ユニットは、図中に示さない DC モータを動力として上下に昇降し、移植カップが土中に進入する際、畝面押さえ板と上部のマグネットクラッチの作用によって所定深以上は土中に進入しないよう構成されている。これによってユニットが複数になっても個々のマグネットクラッチは植付け箇所の畝高さに応じて切れることとなり、結果として植付け深が一定化する効果が得られる。この場合、畝面押さえ板の高さ位置を変えると植付け深さを調節できる。また、苗は手作業で供給するが、その分離は、移植カップが土中の最下端に達した時、ばねによる開口力を作用させることとした。すなわち、移植カップは最下端で土圧によって開口できない状態であるが、移植ユニットの上昇に併せて移植カップが土圧から解放されて開口し、苗が分離されることとなる。植付け状況も良好であった。この方式の移植ユニットをマグネットクラッチ式と称する。

移植ユニット上部のマグネットクラッチは、畝面押さえ板に生じる土面からの反力が磁力と圧縮ばね力の合力を越えると分離し、移植ユニットがさらに降下しても移植カップが降下しない仕組みとしており、これにより、植付け深を一定化させようとするもの

である。しかし、移植本圃の土壤硬度が高い場合や、畝形状が極端にカマボコ型であったりすると転び苗などの植付け不良が生じた。このため、畝面押さえ板に加わる反力を検知するのではなく、移植カップが所定の深さに進入したことを感知する型式が望ましく、クラッチをヒンジ・レバーによるクラッチをとし、この方式の移植ユニットをヒンジ・レバークラッチ式とした。図2-1-2にマグネットクラッチ式とヒンジ・レバークラッチ式の移植ユニットの外観を示した。



(マグネットクラッチ式)

図2-1-1 開発した移植ユニットの作動概要

注) 移植の順序は次のとおり。ただし苗投入筒は除いて示した。

- ①移植ユニットは上方に位置し、苗の供給を待つ。
- ②移植カップが土中に入ると、ほぞ穴を形成する。この時、移植ユニット支持ステイがさらに降下するとマグネットクラッチはOFFとなり、降下力は移植カップに伝わらなくなる。また、移植カップには開口力が働くが土圧で開口できない。
- ③カップが土中からでると開口し、セル苗をほぞ穴に落下させ、移植は完了する。さらに上昇すると、フック解除棒によりフックは解除され、移植カップは閉じる。

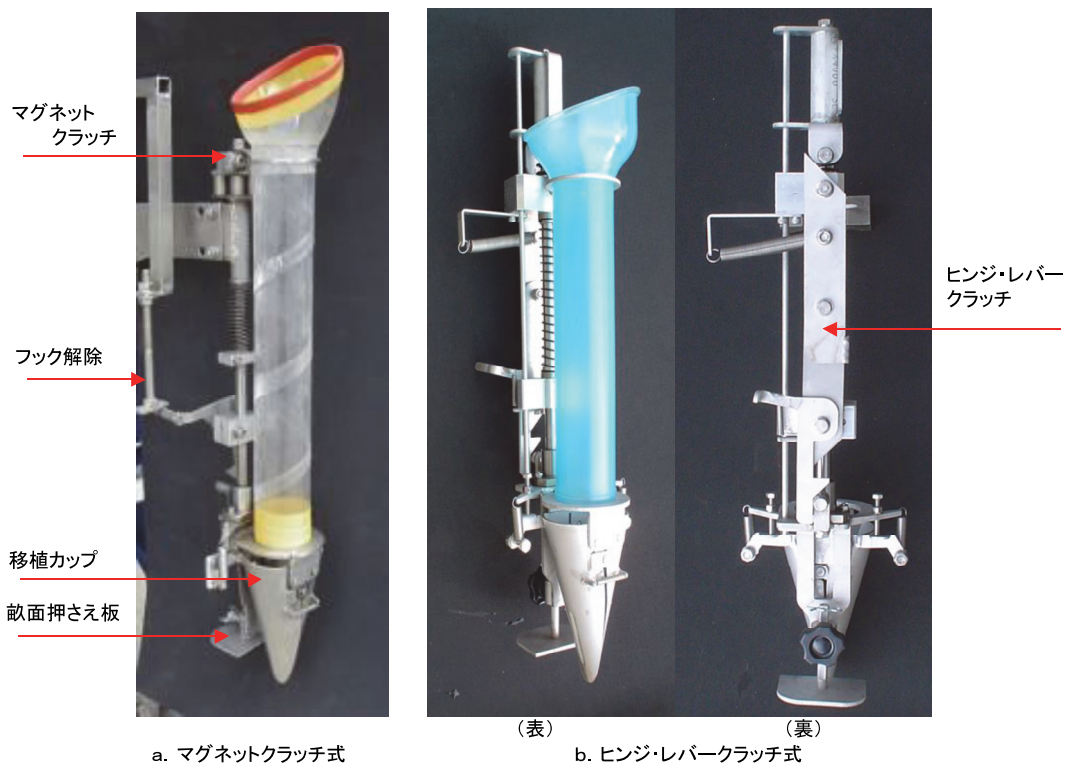


図2-1-2 開発した2種の移植ユニット

注) ヒンジ・レバー式の移植ユニット (裏) は詳細が分かり易いように苗投入筒をはずしている。

3.3 移植ユニットの基礎性能

3.3.1 試験方法

上記 2 機種 of 移植ユニットについて、万能試験機 (島津製 AG-50KND) に 2 種の移植ユニットを装着して作動試験を行った。図 2-1-3 にその試験状況を示した。

移植地は内径 310mm、深さ 120mm のボウルに、粒径を 2~3mm に調整した田土を 110 mm 程度の高さに入れ、田土表面の土壤硬度が一定の硬さになるよう直径 100mm、質量 1kg の鉄製錘により突き固めて、均平にした。万能試験機の降下速度は設定可能な最高速度 16.7mm/s とし、降下ストロークは 100mm で一定にした。

試験は、田土表面の土壤硬度については先端部に大コーンを用いたプッシュプルゲージにより深さ 50mm の貫入抵抗で、2 水準 (軟い土: 15kPa, 硬い土: 31kPa) 設けた。この土壤硬度の水準はマルチフィルムで被覆した畝立て後におけるレタス畝の値に近い範囲である。移植深さは畝面押さえ板位置を移植カップ先端からの垂直距離で 40mm とし、一定とした。試験の反復数は 1 区当たり 3 回とした。

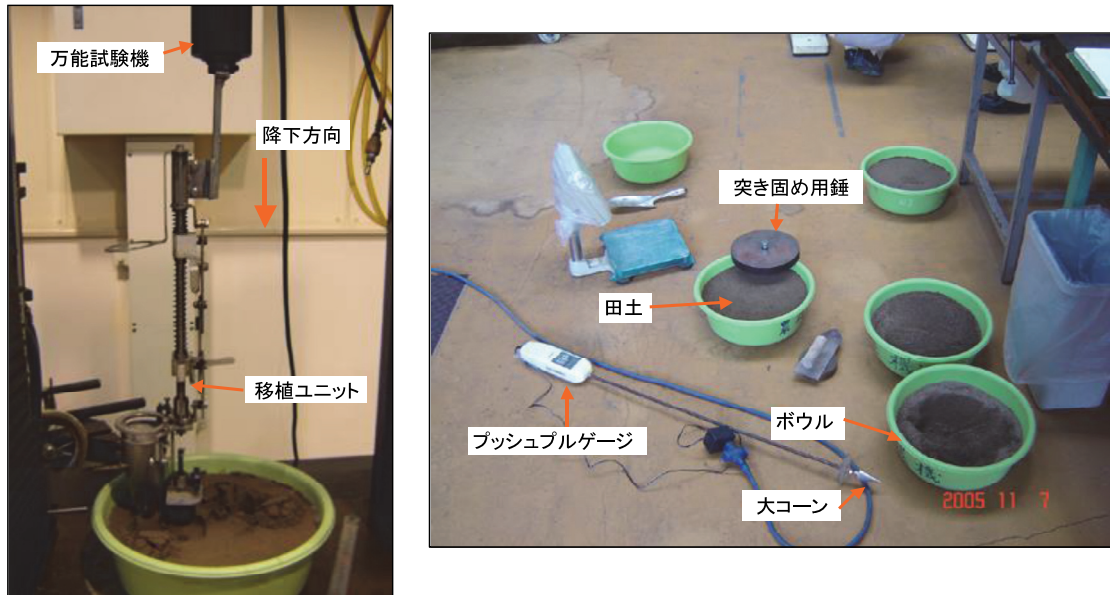


図2-1-3 万能試験機による移植ユニットの作動試験状況

3.3.2 結果および考察

図 2-1-4 に移植ユニットの降下距離（移植カップの先端が接地した位置を 0mm とした。以下、降下距離）と土中へ進入する移植カップの受ける反力との関係を示した。

マグネットクラッチ式において、畝面押さえ板は降下距離 40mm で土表面に接地し、「軟い土」に対しては降下距離 75mm、移植カップの土中進入抵抗（以下、進入抵抗）65N の時、クラッチが切れ、移植ユニットの降下は停止した。降下距離 40mm は移植カップ先端から畝面押さえ板の高さ位置までの距離であり、畝面押さえ板は初期位置から 35mm 上に移動した。同様に、「硬い土」では降下距離 65mm、進入抵抗 75N の時、クラッチが切れ、畝面押さえ板は 25mm 上に移動した。このようにマグネットクラッチ式では、進入抵抗は「硬い土」の場合が「軟い土」に比べて大きく、降下距離は「硬い土」の場合が「軟い土」に比べて小さかった。

一方、ヒンジ・レバークラッチ式では「軟い土」に対して降下距離 78mm、進入抵抗 125N でクラッチが切れた。また、「硬い土」に対しては降下距離 75mm、進入抵抗 100N でクラッチが切れた。すなわち、ヒンジ・レバークラッチ式では土の硬度による降下距離への影響は小さいが、進入抵抗への影響は大きかった。これは、マグネットクラッチ

式では磁力によってクラッチが作動しているのに対してヒンジ・レバークラッチ式では畝押さえ板の上昇によってクラッチが作動しているためと考えられた。

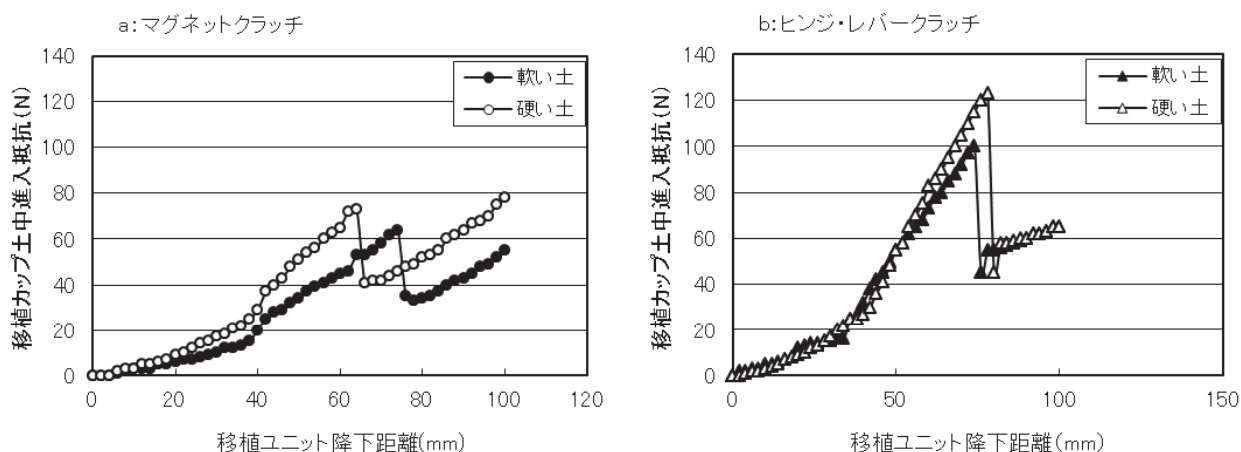


図 2-1-4 移植カップ降下距離と進入抵抗

注) 1) 土壌硬度区分「柔い土」「固い土」は大コーン深さ 50mm の条件でそれぞれ 15kPa, 31kPa.
2) ユニット押さえ板高さ位置 40mm.

移植精度を確保する上では移植カップの土中内での降下距離が安定していることが重要であると考えられ、以上の試験結果から、ヒンジ・レバークラッチ式がマグネットクラッチ式に比べて有効であると判断された。

4. 半自動多条移植機の開発

試作した移植ユニットを搭載する半自動多条移植機は走行部駆動源がエンジンによる自走式（試作 1 号機）と手押しによる人力式（試作 2 号機）の 2 機種を試作した。このうち、自走式は移植機の移動について作業者の負担を少なくしようとしたものであり、人力式はあくまで移植機の簡便さを確保しようとしたものである。

4.1 自走式（試作 1 号機）の開発

4.1.1 自走式の試作

表 2-1-1 に試作 1 号機の諸元を示し、図 2-1-5 にその外観と作業状況を示した。

試作 1 号機は走行部に茶園管理用のセミクローラ式小型台車を利用し、移植部に前項の移植ユニットを 3 または 4 基備えることができる。ただし、ここで用いた移植ユニットは機材の準備上マグネットクラッチ式としている。主要寸法は、畝幅 1.8m の 4 条植の場合、全幅 2,700mm、全長 1,000mm、全高 1,200mm で、全質量はバランスウェー

トを含めて 135kg である。移植ユニットを装着するツールバーは折りたたむことができる。この機能は枕地等での旋回時や軽トラックへの積載時、格納庫へ収納する際に利用する。

表 2-1-1 試作 1 機の主要諸元

項 目	摘 要
主寸法	全幅：格納時 1,400mm
	：作業時 3条2,400mm、4条2,700mm
全長×全高 1,000mm×1,200mm	
質 量	走行部 63kg
	作業機部 32kg
	バランスウエート 40kg
95kg	
走行部	動力 ガソリンエンジン：1.1kW/7,000rpm
	走行 後輪クローラ幅11cm、前輪キャスト輪径22cm
	変速 HST無断変速：前進最速0.62m/s、同後進0.66m/s
	発電 24V-50W
作業機部	適応条数 3条or4条（千鳥植え）
	適 応 苗 セル成型苗
	苗 供 給 人力式
	条 × 株 間 30cm×32cmor35cm
	移 植 動 力 12V-60W
	移 植 スト ロ ーク 30cm、昇降時間3.4秒
	補 助 輪 直径30cm、幅3cm
ツ ー ル バ ー パワーシリンダによる拡張式 拡張所要時間8秒	
操 作	移 植 ユ ニ ッ ト 植付け深独立検知式
	手動 手動時：有孔マルチに対して発進・停止を手動操作 または自動 自動時：無孔マルチに対し、自動停止機能利用



図2-1-5 試作1号機の外観と移植作業状況

移植部は電動モータで上下に駆動し、レタス苗は図 2-1-5 のとおり手作業で補給し、移植は台車部停止中にスイッチ操作で行う仕組みである。移植条数は 3 条または 4 条で、必要数の移植ユニットをそれぞれ条間 27cm, 30cm で装着する。また、株間はクローラ駆動軸に設けたエンコーダにより駆動軸の回転数カウントし任意に設定でき、それに併せて走行部 HST への入力軸を自動着脱することで走行部は自動間欠走行し、条間と併せて千鳥配置の移植とできる。

なお、試作1号機には発電機能を備えており、移植部駆動モータの電源を補給できる仕様としている。

4.1.2 自走式の性能評価

1) 試験方法

供試した圃場は刈株を除去した大豆後圃場とした。畝幅1.8m, 天場幅1.4mで、条間30cm, 株間を35cmとする4条栽培とし、供試苗は200穴セル苗で、苗の大きさが移植精度に及ぼす影響を確認するため播種日が異なる小苗と大苗の2種とした。この場合のマルチ敷設法は天場だけをマルチフィルムで覆い畝溝の土をマルチフィルムに培土してマルチフィルムを固定する方法（以下、トップマルチ法と記す）で、移植作業精度に関する供試畝は直径4cmの植穴がある有孔マルチを供試した。作業能率の調査においては有孔マルチと植穴のない無孔マルチの2種類を供試し、植穴の有無が作業能率に及ぼす影響を調査した。

移植作業は2人作業で行い、有孔マルチの場合、機体後方より見て左側作業者が機体の停止位置を決定し、左側2条分のレタス苗を供給する。右側作業者は機体の前進方向を確保しつつ、右側2条分のレタス苗を供給する。無孔マルチの場合は機体が自動で間欠走行するので左右の作業者はそれぞれ分担の2条分の苗を供給するだけとなる。移植のスタートスイッチは左右どちらの作業者も操作できるが、本試験では左側作業者が操作した。

調査項目は供試苗条件として草丈と根鉢強度指数、畝条件として畝表層0～5cmの土壤水分と碎土率とし、移植作業中は作業内容別の作業時間、移植後は移植精度を調査した。調査項目のうち、碎土率は土塊径1cm以下の質量割合とし、根鉢強度指数はセル苗を高さ0.5mからコンクリート面に落下させた場合の質量の前後比率とした。また、移植精度は根鉢上面がマルチ面に対して1/3以上露出する「浅植え」、同じく根鉢上面がマルチ面に対して10mm以下となる「深植え」、 「正常植え」の3区分で調査した。

2) 結果および考察

(1) 移植精度

表 2-1-2 に試作 1 号機の移植精度調査結果を示した。

刈株を除去した大豆作後で晴天時の畝立てであったので供試畝は夾雑物が少なく，マルチ上に培土した土塊径も小さく畝天場が均平に仕上がっていて碎土率は 77.9%と高かった。このため，移植精度は，マグネットクラッチ式移植ユニットでも転び苗はなく浅植えが 3.4%みられたものの，正常植えが小苗区 94.9%，大苗区 96.6%と高かった。特に，大苗区は草丈が 89mm と大きく，既存の全自動移植機では移植できなかった苗⁽⁵⁾でも支障なく移植できた。

表 2-1-2 試作 1 号機による移植精度

(a) 供試苗の性状					
区分	草丈 (mm)	葉齢 (-)	絶乾苗重 (g)	T/R比 (-)	根鉢強度 指数(%)
小苗	43	4.0	80	2.4	93.6
大苗	89	5.1	175	3.0	99.5

(b) 移植精度				
区分	転び苗 (%)	浅植 (%)	深植 (%)	正常植え (%)
小苗	0	3.4	1.7	94.9
大苗	0	3.4	0	96.6

注) 1) 根鉢強度指数は根鉢付きセル苗を高さ0.5mからコンクリート床に落下させた場合の前後質量比率で示した。

2) 移植本圃土壌水分24.4%，土塊径 1 cm以下の碎土率77.4%。

3) マルチフィルムは直径4cmの有孔タイプ使用の場合。

(2) 移植作業能率

表 2-1-3 に試作 1 号機の移植作業能率調査の結果を示した。

有孔マルチの場合，試作機の前進，停止，位置調整，レタス苗の補給，移植ユニット降下，同上昇までの 1 回の所要時間は 11.1 秒，同じく無孔マルチ区 8.3 秒となり，有孔マルチ区で多くかかった。これはマルチの有孔部分に移植機の移植カップ位置を合わせる必要があったためで，10a 当たりには換算した作業能率は有孔マルチ区 5.0h/10a，無孔マルチ区 3.8h/10a となった。

表2-1-3 試作1号機による移植作業能率

作業の種類	有孔マルチ		無孔マルチ		摘要	
	1回当たり (秒)	10a当たり (分)	1回当たり (秒)	10a当たり (分)		
移植	11.1	289.0	8.3	216.0	6,248株/10a	
前 進 停 止 位置調整	3.0	-	2.9	-		
	6.9	-	4.8	-		
	1.2	-	0.6	-		
苗供給	左側	2.4	-	1.4	-	左作業者
	右側	3.2	-	1.4	-	右作業者
旋回	16.1	3.0	16.1	3.0	11回	
苗補給	20.0	6.0	20.0	6.0	1畝4トレイ：18回	
合計		298.0		225.0		
作業能率 (h/10a)		5.0		3.8		

注) 圃場条件等は表2-1-2に準じる。

4.2 手押し式（試作2号機）の開発

4.2.1 手押し式の試作

表2-1-4に試作2号機の諸元を示し、図2-1-6に外観と作業状況を示した。試作2号機は走行部がアルミ製の台車で、人力手押し式である。質量は55kgと試作1号に比べて軽量で、輪距は1,300~1,600mmに拡張することができ、移植部にはヒンジ・レバークラッチ式の移植ユニットを装備している。畝幅1,500mmの3条移植の場合は1人作業、畝幅1.8mの4条移植の場合は2人作業となる。また、試作1号機と同様に千鳥移植が可能であるが、株間の設定は作業者がメジャーを目印として手動で位置決めする方法としている。枕地での機体の旋回はハンドル部を後下方向に引き、前輪を浮かせることで後輪2輪による走行・旋回とし、旋回幅を小さくすることができる。

表2-1-4 試作2号機の主要諸元

高×長×幅 (mm)	1,020×1,550×1,720~2,020
軸距×輪距 (mm)	750×1,300~1,600
質量 (kg)	55
走行部	4輪式 (26インチ自転車車輪)
走行動力	人力式
移植方式	人力苗供給・間欠走行式
移植様式	3または4条同時千鳥移植
条間×株間 (m)	0.27または0.30×0.32または0.35
移植ユニット	各ユニット独立懸架式
移植動力	DCモータ (12V-60W)
バッテリー	12V-28AH
昇降サイクル (s/c)	3.5 (ストローク：0.28m)
適応畝幅 (m)	1.3~1.8
適応高さ (m)	0.10~0.25
マルチ	マルチの有無を問わない
適応苗	セル成型苗 (128, 200, 220セルトレイ等)
作業人員	3条移植では1名、4条移植では2名

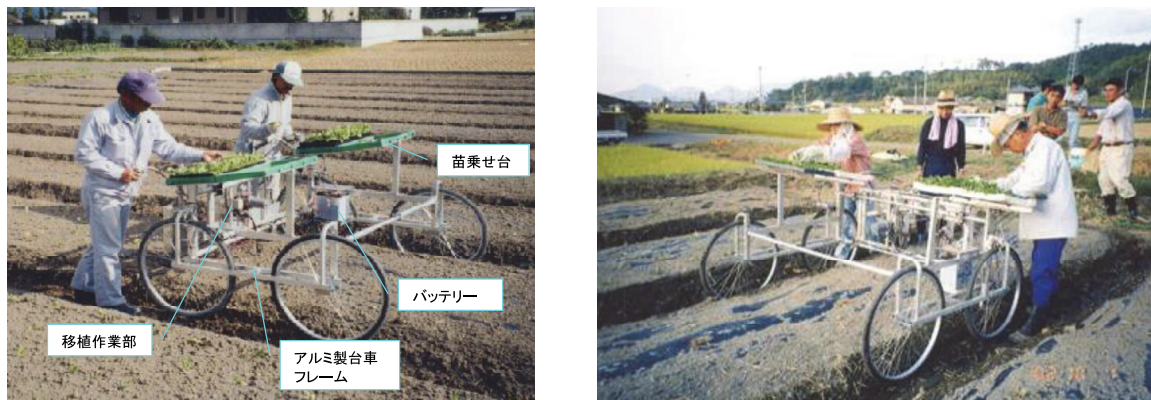


図2-1-6 試作2号機の外観と作業状況

4.2.2 手押し式の性能評価

1) 試験方法

水稻後圃場を供試し、畝様式およびレタス苗の栽植様式は試作1号機の場合と同様で、供試レタス苗は200セル穴のものを供試した。マルチはトップマルチ法で無孔マルチを用いた。調査項目は畝条件として畝表層0～5cmの土壌水分と碎土率、移植作業中は作業内容別の作業時間、移植後は移植精度を調査した。このうち、移植作業中は作業者の心拍数を測定し、労働強度を評価した。また、作業精度は「転び苗」、「浅植え」、「深植え」、「傾斜苗」、「正常植え」の区分で調査し、移植8日後にはレタス苗の活着率を調査した。

2) 結果および考察

(1) 移植精度

表2-1-5に試作2号機の移植精度調査結果を示した。

供試したセル成型苗は、苗令20日、草丈72mm、葉数3.2枚で、やや徒長気味であった。また、根鉢強度指数は89.5%でやや低く、しかも移植直前の灌水によって根鉢が移植カップに付着する傾向が見られた。このため、転び苗2.6%、浅植え2.4%、傾斜苗1.5%、深植え0.1%があり、正常植率は93.4%であった。しかし、それら不良移植は作業中に発見できて、オペレータが移植機に寄りかかりながら人力で簡単に補正することができた。

移植直後に灌水し、その後、8日目に調査した活着率は97.1%であった。活着不良は4条のうち端条にみられた。これは端条においてマルチ上の培土厚が厚くなって、移植カップが培土下のマルチフィルムを突き破れなかったことによるものであった。その後の調査の結果、活着不良を防ぐためには培土厚を2cm以下とする必要があった。

表 2-1-5 供試したレタス苗の性状と試作 2 号機による移植精度

(a) 供試苗の性状		(b) 移植精度調査結果		
苗の性状		植付け姿勢 (%)		
苗令 (日)	20	傾斜	1.5	植付け角60° 以下
草丈(mm)	72	浅植	2.4	根鉢1/3以上の露出
葉数(枚)	3.2	深植	0.1	生長点の埋没
根鉢強度指数 (%)	89.5	転び苗	2.6	
T/R比	1.0	正常植	93.4	
		移植8日後活着率 (%)	機械植え	97.1
			手植え	100.0

注) 根鉢強度指数は高さ50cmからコンクリート面に落下させた場合の根鉢質量前後比率. 本圃土壌水分22%, 砕土率 (10mm土塊以下) 74%.

(2) 移植作業能率

表 2-1-6 に試作 2 号機の移植作業能率と作業強度の調査結果を示した.

作業能率は 4.0h/10a で, 試作 1 号機の場合に比べてやや低くなった. これは機体の前後進が手押し式でレタス苗の植付けピッチ (株間) をメジャーで目測しながらの作業となるためや移植直前の灌水によって移植カップ内側に付着した土を除く清掃作業が加わったためと考えられた. それでも試作 2 号機は機体重が試作 1 号機に比べて大幅に軽量であるため, 農道での移動や圃場での出入りが容易になる長所が確認できた. 作業人員数を考慮した延べ作業時間でこの作業能率を手植えと比較すると約 1.4 倍であった.

一方, 移植作業中の心拍数増加率は, 手作業では 36%で「中作業」, 試作 2 号機を使った場合は 21%で「軽作業」に区分された. これらのことから, 試作 2 号機は能率面の向上よりも軽作業化面での効果が大きいと判断された.

試作 2 号機については, 以上の他に適用できるセル苗サイズ等について調査したところ, 標準トレイの 128 穴, 200 穴の他に JA 香川県仕様の 220 穴の苗や草丈 100mm 程度までの苗も移植することができた. また, 搭載している 12V-28AH のバッテリーで 1 回の充電による移植回数を調査したところ, 連続で 6,000 回 (約 40a) 可能であった. さらに, 図 2-1-7 に示すとおり, 輪距を縮小すれば軽トラックへの積込みも 1 人作業で行え, 軽量であることから圃場へ出入りも容易であった.

表 2-1-6 試作 2 号機の作業能率と作業強度

作業名	時間 (分/10a)	割合 (%)	摘要
初期設定	8.4	—	1回：輪距の拡大，植付け深値調整
移植	229.1	94.9	走行距離550m，作業速度0.04m/s
カップ清掃	3.7	1.5	移植カップ内側清掃：22回
旋回	3.3	1.4	枕地無し：18秒/回：11回
株間調整	2.8	1.2	畝進入時初期設定：11回
苗補給	2.4	1.0	1畝4トレイ：11回
合計	241.3	100	
	作業能率 (h/10a)	4.0	(2人作業)
	圃場作業効率 (%)	95	
	手植え作業能率 (h/10a)	11.4	(1人作業)
	機械移植時心拍数増加率 (%)	21	：軽作業
	手植え時心拍数増加率 (%)	36	：中作業

注) 畝幅1.8m，天場幅1.3m，畝高0.2m，トップマルチ法：光分解性使用
条間30cm，株間35cm に設定。手植え作業の心拍調査対象者：
男性29才(安静時85)。労働強度区分は1983鶴崎による。



(横積み)



(縦積み)

図 2-1-7 軽トラックに積載した試作 2 号機

4.2.3 旋回方法の改善

1) 改善の目的

香川県内のレタス栽培は狭小な圃場で行われるため，枕地には移植機等の利用を意識した旋回幅を設けていない場合が多い。また，水稻作後であるため，排水性を確保する観点から高畝での栽培である。このような圃場での試作 2 号機利用においては旋回時に旋回中心側の車輪が畝溝の影響でうまく旋回できない場合が多かった。このため，旋回

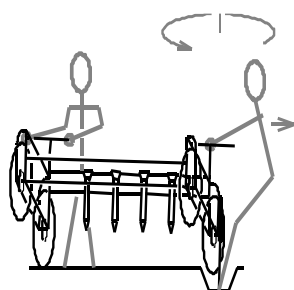
中心側の後輪横に旋回補助支柱を装備して枕地での旋回方法の改善策について検討した。
図 2-1-8 にその外観を示した。



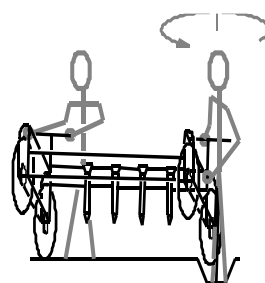
図 2-1-8 旋回用補助支柱を装備した試作 2 号機の旋回の様子

2) 試験方法

供試畝は畝幅 1.8m，畝高 0.2m とした。旋回方法は旋回中心側の作業者の役割によって図 2-1-9 に示す 2 つの方法を比較した。その 1 つは，A：旋回中心側作業者が機体の旋回を補助するため体重を機体側方に掛ける方法（以下，A 旋回）で，もう 1 つは，B：旋回中心側作業者が機体の旋回を補助しなかった場合（以下，B 旋回）とした。試験は作業者の姿勢負担度を調査するため，10 回の旋回をビデオ映像に納め，1.2 秒毎に再生・静止し，作業者の姿勢を OWAS 法⁽⁹⁾により評価した。



A: 中心側作業者は旋回側
作業者の接地輪荷重を軽減する。



B: 中心側作業者は旋回側
作業者に配慮しない。

図 2-1-9 旋回補助支柱を装備した試作 2 号機の旋回方法

3) 結果および考察

表 2-1-7 に旋回方法別の姿勢負担度の調査結果を示した。

旋回所要時間は A 旋回で 15.0 秒/回，B 旋回で 23.3 秒/回であった。被験者の組み合わせが同じではなかったので単純な数値比較は難しいが，A 旋回の方が旋回はスムーズであった。OWAS 法による旋回方法別の姿勢負担度は，A 旋回では中心側で 11.1%，旋回側は 0.0%，B 旋回では中心側で 0.0%，旋回側は 63.3%となり，旋回側の姿勢負担度が高かった。このことから，旋回の中心側作業員が旋回側作業員を補助することが円滑な作業を確保するのに有効であると考えられた。

なお，旋回補助支柱は，その後，電動パワーシリンダの利用を検討したが，旋回補助支柱を装備するためのフレームの補強や左右に旋回補助支柱を装備する必要があるため，質量の増加を招いた。フレームの強化方法や旋回補助支柱の取付け位置についてなお検討が必要であると考えられた。

表2-1-7 OWAS法による試作2号機の旋回方法と姿勢負担度

方法	作業分担	被験者	旋回時間 (秒)	度数(%)				姿勢負 担度	備考
				AC1	AC2	AC3	AC4		
A	中心側	男性(50)	15.0	27.8	61.1	11.1	0.0	11.1	中心側で慣れ が必要
	旋回側	男性(62)		11.1	88.9	0.0	0.0	0.0	
B	中心側	男性(31)	23.3	36.7	63.3	0.0	0.0	0.0	旋回側で負担 が大きい
	旋回側	男性(62)		3.3	33.3	63.3	0.0	63.3	

5. まとめ

試作 1 号機と試作 2 号機の性能のうち，移植精度に関しては移植ユニットや供試圃場が異なるので単純な比較はできないが，無孔マルチによる畝での調査結果を見ると正常植率で試作 1 号機 94.9%，試作 2 号機 93.4%となり，ほぼ同等であると判断された。作業能率では，走行部が自走式で，その発進・停止が自動になっている試作 1 号機でやや高かった。しかし，試作 1 号機は質量がバランスウェイトを含めて 135kg と大きいことや走行部がエンジン駆動であるため長時間の作業には騒音による作業員への負担が大きいと思われた。また，試作 2 号機は軽量であることから本研究で試みたように簡単な旋回補助具の利用で枕地旋回が容易になることや実用化にあたって製造価格を低くすることができる利点があると思われた。

第Ⅱ章・第1節の参考文献

- (1)山浦浩二・西村融典，1993，レタス移植機の移植精度と生育収量，香川農試・農業機械に関する試験成績書，23～24
- (2)山浦浩二・西村融典，1995，レタス栽培の軽作業化技術の開発～1条全自動移植機利用を前提とした4条栽培法～，香川農試・農業機械に関する試験成績書，19～20
- (3)山浦浩二・西村融典，1996，レタス生産省力化技術の開発・普及～移植作業のシステム化～，香川農試・農業機械に関する試験成績書，19～20
- (4)十川和士・山浦浩二・西村融典，2000，レタス生産省力化技術の開発・普及～1条全自動移植機の現地実証～，香川農試・農業機械に関する試験成績書，17～18
- (5)岡田彰夫・山浦浩二・十川和士・西村融典，2002，レタスのセル成形苗の性状と全自動移植機への適応性，香川農試研究報告，55，25～32
- (6)長崎裕司・猪奥康治・宮崎昌宏・田中宏明，1997，レタス用簡易移植機の開発，農業機械学会，第58回大会講演要旨，73～74
- (7)土屋史紀・岡崎絃一郎・熊倉裕史・尾島一史・前岡邦彦・吉田智一・亀井雅浩，1999，セル成形苗用簡易移植機の開発，農業機械学会，第60回大会講演要旨，259～260
- (8)土屋史紀・田中和夫・尾島一史・石田茂樹・吉田智一・亀井雅浩，2001，セル成形苗用簡易移植機の開発(第2報)，農業機械学会，第62回大会講演要旨，33～34
- (9)瀬尾昭彦，2000，Ovako式作業姿勢分析システム，<http://homepage2.nifty.com/aseo/owas.html>.22

第2節 半自動多条移植機用の移植同時灌水技術の開発

1. 研究目的

香川県内におけるレタス移植後の灌水作業はレタスの早期活着を促すための重要な作業である。慣行作業では動力ポンプとホースを使用して手灌水により行っている。所要時間は延べ3.8人時/10aを要しており（2人作業：第I章の図1-6参照）、移植と灌水を同時化することは作業時間の短縮と省力化を図る上で有効であると考えられる。そこで、移植直後の灌水量がレタスの生育収量に及ぼす影響を調査し、適正灌水量を把握したうえで、第1節の試作2号機に灌水装置を組み合わせた移植同時灌水技術を開発する。

2. 移植直後灌水量がレタスの生育収量に及ぼす影響

2.1 試験方法

水稻後圃場において、畝幅1.8m、畝高0.2mの4条栽培を前提に、移植直前の浸漬（セルトレイごとレタス苗を水桶に漬ける。浸漬時間は2～3秒）の有無及び移植直後の灌水量5水準（0、20、50、100、200ml/株）を組み合わせた栽培試験を行った（2003年、2004年）。調査項目は移植14～15日後にレタス苗の最大葉面積（最大葉の縦と横の長さを測定し、楕円の面積として算出）を、また、収穫時にレタス全重を調査した。耕種概要は、品種「シスコ」、条間30cm、株間35cmの4条栽培で、移植直後にトンネル被覆による雨避け栽培とし、降雨が試験に影響しないようにした。2003年は播種10月3日、移植11月6日、収穫2月9日。2004年は播種10月5日、移植11月8日、収穫2月3日で、育苗には200穴セルトレイを利用した。肥培管理および病害虫防除は香川県主要野菜栽培指針⁽¹⁾によった。

2.2 結果および考察

図2-2-1と図2-2-2に2003年栽培における生育初期の灌水量と最大葉面積の関係および灌水量と収穫時のレタス全重の関係を示した。

移植15日後の最大葉面積は、移植直前に苗の浸漬が無い場合、灌水量が0～100ml/株までは、最大葉面積は63～72cm²で増加傾向であったが100～200ml/株では72～68cm²と減少傾向となった。同じく、苗の浸漬が有る場合は0～50ml/株で62～71cm²となり増加傾向、50～100ml/株では71～69cm²と減少傾向となった。灌水量と収穫時のレタス全重の関係では、移植直前に苗の浸漬が無い場合、灌水量0m～100ml/株では900g程度でほぼ一定していたが、200ml/株ではやや減少傾向であった。同じく、苗の

浸漬が有る場合は灌水量 0～50ml/株において 810～890g と増加傾向、50～100ml/株では 890～830g と減少傾向となり、事前浸漬が無い場合に比べてやや低収傾向であった。

次に、図 2-2-3 と図 2-2-4 に 2004 年栽培における生育初期の灌水量と最大葉面積の関係および灌水量と収穫時のレタス全重の関係を示した。

移植 14 日後の最大葉面積は、灌水量 0～200ml/株に対して直前灌水が無い場合 35～55cm²、直前灌水が有る場合 40～63cm² といずれも増加傾向で直前灌水がある場合が無い場合に比べて大きい傾向であった。灌水量と収穫時のレタス全重の関係では、移植直前の浸漬の有無に関係なく灌水量 0～50ml/株では増収傾向であったが、50ml/株を越えると灌水量の影響はみられなかった。

以上のことから、11月上旬移植の 2 月どりレタスにおいては、移植時の灌水量を 50ml/株程度とすることで収量は確保されるものと判断された。なお、本試験において実施した移植直前の苗の浸漬については移植後の灌水量の低減を図り、ひいては作業の省力化に繋がる効果をねらったものであったが、収量に及ぼす影響は小さかった。また、浸漬処理は病虫害防除を兼ねて実施している生産農家もあるが、移植機の利用を前提とする

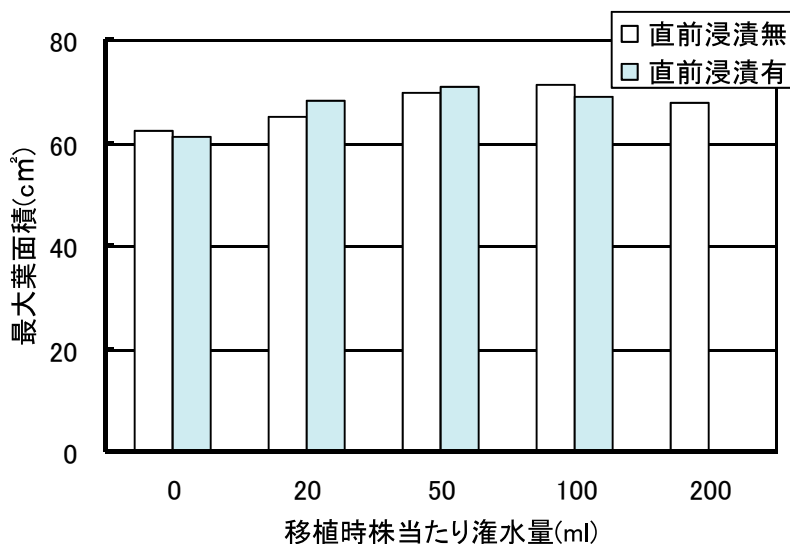


図2-2-1 移植直後灌水量と移植15日後の最大葉面積(2003)

- 注) 1) 降雨の影響を避けるため、トンネルによる雨避けとした。
 2) 移植日11月8日。11月22日調査。最大葉面積は葉の楕円面積で示した。
 3) 調査個体数は、4条のうち中央2条の10株とした。
 4) 11月6日移植，11月21日調査。

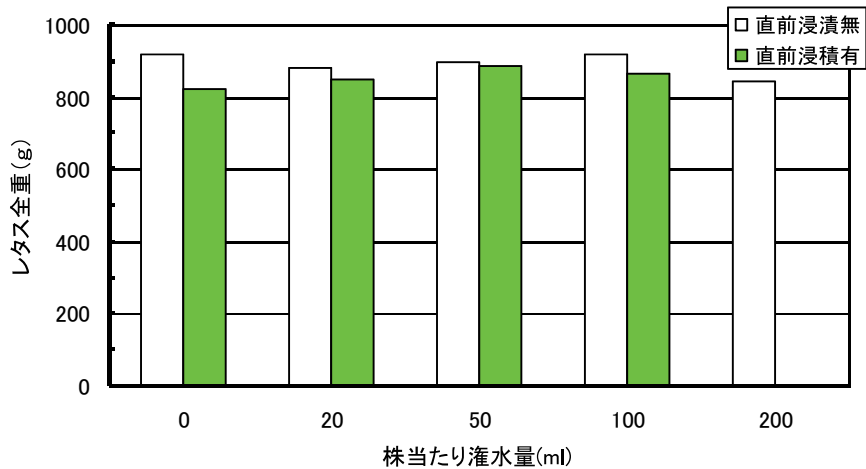


図2-2-2 移植直後灌水量と収穫時のレタス全重(2003)

注) 調査個体は畝中央部2条の10株とした。2月9日収穫。

場合、濡れた苗は根鉢が移植カップ内側に付着して転び苗などが生じる原因になることが観察されており、移植精度を確保する上では、必要な防除作業は浸漬処理ではなく噴霧等による方法とし移植前日までに実施しておくことが重要であると考えられた。

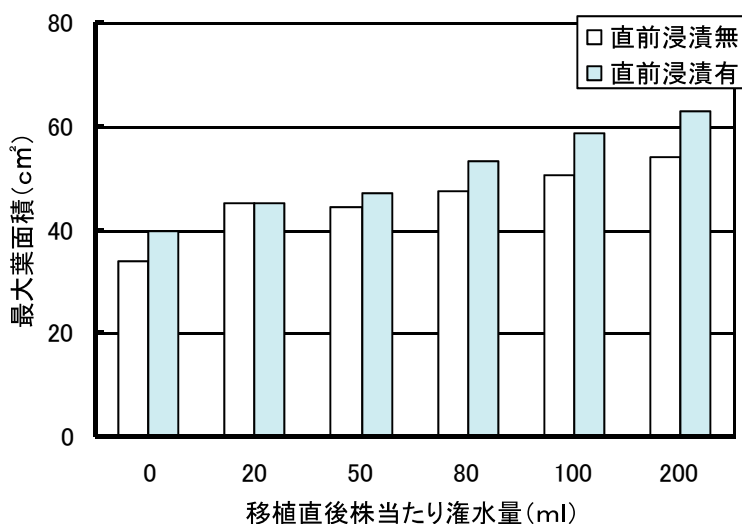


図2-2-3 移植直後灌水量と移植14日後の最大葉面積(2004)

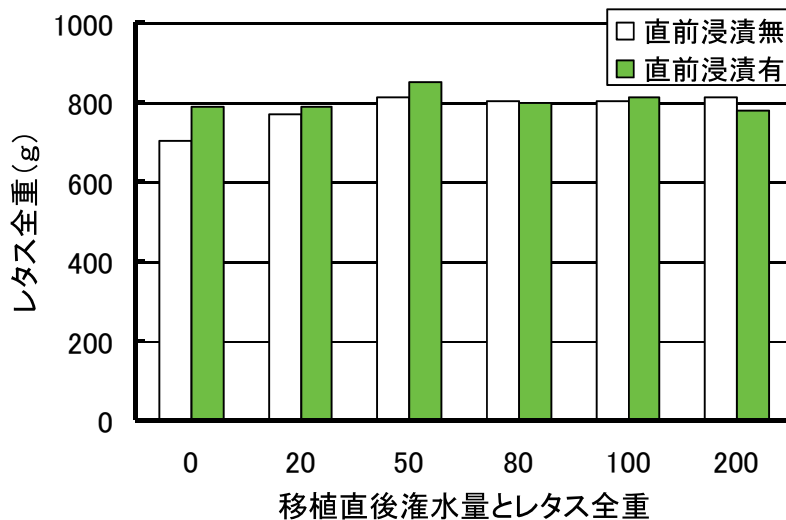


図2-2-4 移植直後灌水量と収穫時のレタス全重(2004)

注) 全重は畝中央10個体の平均値を示す。

3. 灌水ユニット付き移植機の開発

3.1 灌水ユニットの試作

図 2-2-5 に灌水ユニット付き移植機と圃場での装備概要を示した。

第 1 節の試作 2 号機 (以下, 移植機) に搭載する灌水ユニットはバッテリー電源で駆動する電磁バルブ, タイマースイッチ, 逆止弁 (ダレ防止), ノズルで構成され, 全質量は 4.0kg である. ノズルは 4 条の移植ユニットに対応できるように 4 個装備しており, それぞれ個別に吐出量を調整することができる. 灌水に必要な水は動力噴霧機 (本試験では無線信号による送水ホース (内径 8.5mm, 長さ 100m) の自動巻取り機能がある M 社の MSV413R2-K を使用) で供給し, 灌水ユニット付き移植機に連結して使用

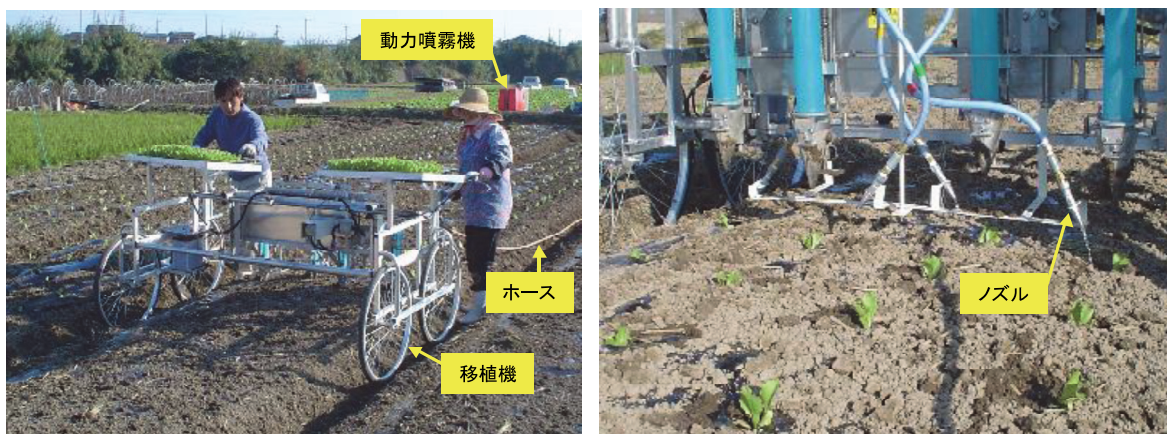


図2-2-5 移植同時灌水作業の装備概要

する。灌水の開始のタイミングは、移植カップが降下してレタス苗を畝に移植したあと上昇に転じた時とし、マイクロスイッチで検出する。また、灌水の停止は時間設定が可能なタイマースイッチによる。

送水ホースと灌水ユニットは着脱が容易なワンタッチカップラで連結しており、移植機が旋回する際には送水ホースと灌水ユニットは分離して送水ホースが旋回操作の支障にならないようにしている。また、送水ホースは移植機を操作する2人の作業員のどちらかの腰部に設けたフックを経由しており、移植機が前進する際は作業員が送水ホースを直接牽引するようにして送水ホースが移植機前進の支障とならないようにしている。

3.2 試験方法

移植同時灌水作業においては移植したレタス苗当たりの灌水量が定量でかつ安定していることが重要であると考え、まず、定置試験により動力噴霧機の設定圧や送水ホース長が株当たり灌水量に及ぼす影響を把握するため、灌水ユニットのマイクロスイッチとタイマーで設定する電磁バルブのオン・オフ時間を2.0秒間とし、設定圧3水準(1.0, 1.5, 2.0MPa)、送水ホース長3水準(2, 50, 100m)で定置試験により灌水量を調査した。次に、圃場において畝幅1.8m、畝高0.2m、畝長50m、植え穴無しのマルチフィルムを敷設した畝を供試し、送水ホースを牽引するのに必要な所要力を調査し、灌水ユニット付き移植機（以下、供試機）により2人作業で条間30cm、株間35cmの4条植えを行った場合の作業能率等を調査した。

3.3 結果および考察

図2-2-6に動力噴霧機の設定圧および送水ホース長と株当たり灌水量の関係を示した。株当たり灌水量は動力噴霧機の設定圧が高く、送水ホース長が短いほど多くなる傾向がみられた。また、図示してはいないが、設定圧および送水ホース長が同じであれば株当たり灌水量の変動は小さく安定していた。ちなみに動噴設定圧2.0MPa、送水ホース内径8.5mm、送水ホース長さ100mの場合で2.0秒間の灌水量は76ml/株であった。前項の移植直後灌水量とレタスの生育収量に関する試験結果から11月移植の2月どりレタスに対して株当たりに必要な移植直後の灌水量は50ml/株程度であったことから、設定圧は2.0MPa程度でも支障ないと判断された。

次に図2-2-7に動力噴霧機の送水ホース長と牽引所要力の関係を示した。送水ホースの牽引（動力噴霧機から遠ざかる場合）は人力とし、50m牽引で70Nを要した。送水ホースの牽引は2人の作業者のうち1人が担うが、その負担は小さいと判断された。なお、送水ホースは畝溝に這わすこととしたが畝溝の乾湿の影響がみられ、乾

いている方が牽引力はやや高い傾向であった。

表 2-2-1 に移植同時灌水作業の作業能率調査の結果を示した。

2 人作業による移植同時灌水作業能率は 3.1 時間/10a となった。このうち、送水ホースの位置替えを行う時間は 3.6 分/10a（全時間の 2.0%）で、この時間が移植同時灌水作業によって増加した時間であり、同時灌水とした影響は小さいと考えられた。

旋回時の送水ホースの引出しは前述のとおり人力により、巻取りは動力噴霧機の自動巻取り機能を利用した。無線機による動力噴霧機の巻取り操作は送水ホースを牽引する作業者が担ったが、送水ホースのたるみ具合を勘案しつつ、急な巻取りにより作業者が引っ張られることがないようにする必要があった。ただし、慣れれば支障のない作業となった。

なお、観察によると、移植作業に灌水作業を同時化しても移植精度には影響がなかった。

以上、移植同時灌水作業は移植と灌水作業を分離して行う場合よりも作業時間の大幅な短縮が期待できると考えられた。

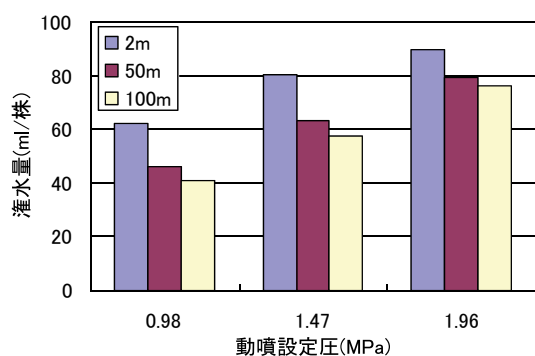


図2-2-6 動力噴霧機の設定圧および送水ホース長と株当たり灌水量

- 注) 1) 1 株当たり灌水時間は 2.0 秒で電磁バルブを使用。
 2) 送水ホースは内径 8.5mm を使用。
 3) 凡例は送水ホース長を示す。

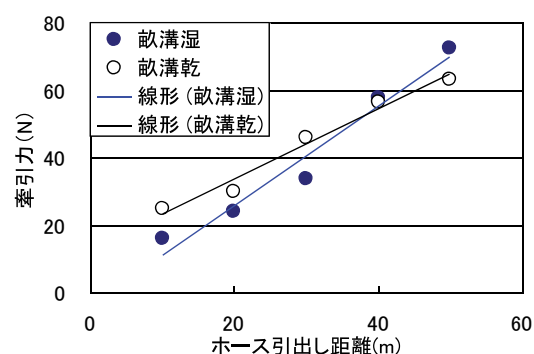


図2-2-7 動力噴霧機送水ホースの引き出し距離と牽引所要力

- 注) 送水ホースは内径 8.5mm、長さ 100m を使用。

表2-2-1 移植同時灌水作業の作業能率

作業名	所要時間 (分)	摘 要
初期設定	8.4	1回：輪距の拡大、植付け深さ調整
移植	164.3	走行距離550m、作業速度0.06m/s
カップ清掃	3.7	移植カップ内側清掃：22回
送水ホース位置替え	3.6	36秒×6回
旋回	6.6	36秒×11回
株間調整	2.8	畝進入時初期設定：11回
苗補給	2.4	1畝4トイ：11回
合計	183.4	
作業能率(h/10a)	3.1	

注) 1) 畝幅 1.8m, 天場幅 1.3m, 畝高 0.2m, 枕地無し, 無孔マルチ使用.

2) 動噴は M 社 (MSV413R2*30L/min) のホース自動巻取り機能付き使用.

3) 土壌水分 29.0%, 碎土率 61.8%(土塊径 1cm 以下).

4) 作業者は男性 2 名 (年齢 30 才, 48 才).

4. まとめ

灌水ユニットを搭載した半自動多条移植機による移植同時灌水作業は、移植作業時間が 2.0%増加するものの移植直後の灌水作業に要していた 3.8 時人/10a を同時化できるため省力的な作業になると考えられた。

この他、本試験に供試した半自動多条移植機と灌水ユニット、動力噴霧機の構成メリットは、①灌水ユニットは軽量なので移植機に装備しても操作性に及ぼす影響が小さいこと、②農家が既に保有する動力噴霧機を有効利用できること、③間欠式の半自動移植機なので台車停止中に比較的多量の灌水が行えること、④移植機の移植精度や能率に影響が少ないことが挙げられた。なお、本研究では 2 月どりレタスを対象として 11 月上旬の移植で実施したが、9 月上旬植えなど高温期の移植作業では、レタス栽培に必要な灌水量は 50~80ml/株よりもさらに多量の灌水量が必要であると想定される。この時期における慣行の移植作業では移植作業中にもレタス苗が萎れることがあり、そのことがレタス苗の早期活着の支障になっていることがみられる。この場合、動力噴霧機の設定圧を 2.0MPa より高くすることやそれでも灌水量が不足する場合でも緊急的灌水として灌水ユニットを利用することとすれば試作機は十分実用的であると考えられた。

第 II 章・第 2 節の参考文献

(1)香川県主要野菜栽培指針，2002，レタスの栽培，香川県，275～302

第3節 半自動多条移植機における移植ユニットの改良と性能調査

1. 研究目的

第Ⅱ章の第1節で開発した半自動多条移植機⁽¹⁾はその後、市販化され農家生産現場に導入されたが、移植深さが安定せず移植精度が低下することがあった。その原因を調査したところ、①移植カップが畝内の小石に当たった場合や②移植時の衝撃等で移植部ヒンジ・レバークラッチに早期の屈曲があった場合、③移植カップがマルチフィルムに楕円状の移植穴を開ける際、移植穴中央部にブリッジ状のマルチフィルムが残り、植え穴にセル苗が挿入されなかった場合、④セル苗の根鉢強度が低い場合、⑤移植直前の灌水でセル苗が移植カップ内に付着し、苗の分離が遅れた場合が考えられた。このうち、移植機側に原因があると考えられる②と③の対策として移植ユニットを改良し、その効果を明らかにする。

2. 移植ユニットの改良

図 2-3-1、図 2-3-2 に改良前後の移植ユニットの概略と外観を示した。

標準の移植ユニット（以下、標準移植ユニット）の改良点は2点あり、その1つは移植カップ開閉用にヒンジ・レバーを用いた点で、標準移植ユニットに見られるカップ“開”フックがない。すなわち、移植カップに対する“開”力は、標準移植ユニットでは、押さえ板の上昇力が引っ張りバネを通じて移植カップに伝えられるが、改良後の移植ユニット（以下、改良移植ユニット）では押さえ板の上昇力がカップ開閉用ヒンジ・レバーを介して移植カップに伝えられる仕組みである。

もう1つの改良点は、移植部ヒンジ・レバークラッチにおけるヒンジ点の位置関係を変更した点である。標準移植ユニットでは各ヒンジ点がほぼ一直線上にあるが、改良移植ユニットでは“くの字”状になるよう構成し（図 2-3-3 参照）、移植カップが畝内に進入する際の衝撃で不意に屈曲しないようにしている。

標準移植ユニットの動きは、ユニットを支持するアームがモータ駆動により降下すると、移植カップが畝面に進入し、押さえ板が畝表面に接して、移植カップに“開”作用力を働かせつつ、ピン P がカップ開フックに掛かり、カップ“開”が保持される。さらにピン P が上昇するとヒンジ・レバークラッチ下端 Q を押し上げ、ヒンジ・レバークラッチを屈曲させる。この作用により、移植ユニットが降下中であっても、移植カップは、それ以下に降下しないようになっており、移植深さが一定になる仕組みである。一方、

改良移植ユニットではカップ“開”フックがなく、畝表面に接した押さえ板の上昇で屈曲していたカップ開閉用ヒンジ・レバーが上方に解放され、カップ“開”の状態となる。さらにピンPがヒンジ・レバークラッチ下端Qに作用し、屈曲させる仕組みである。なお、標準と改良のいずれの移植ユニットも移植深さの調整は、移植カップに対する押さえ板の高さ位置の調整で行う。また、移植カップが畝中の小石などに当たり土中に入進できない場合は、シャフトRがパイプTを介して上方へスライドする際、上部ピンSがヒンジ・レバークラッチの上部に作用してユニット支持アームが降下しても移植カップの降下は停止する。

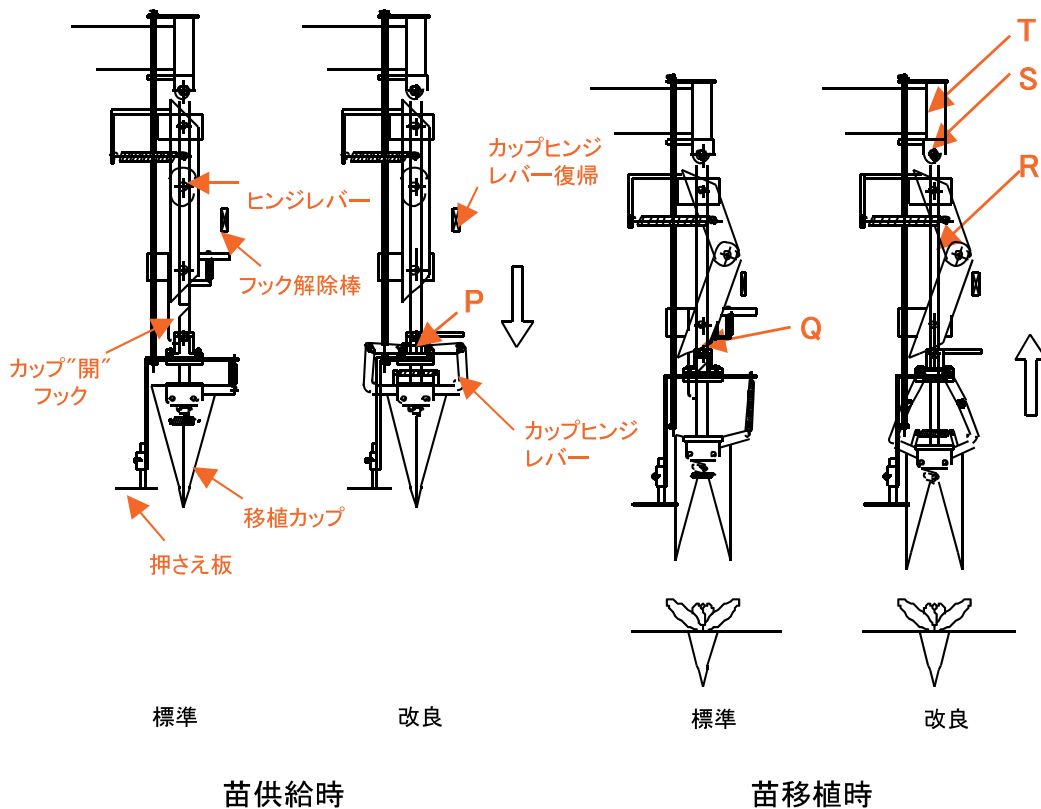
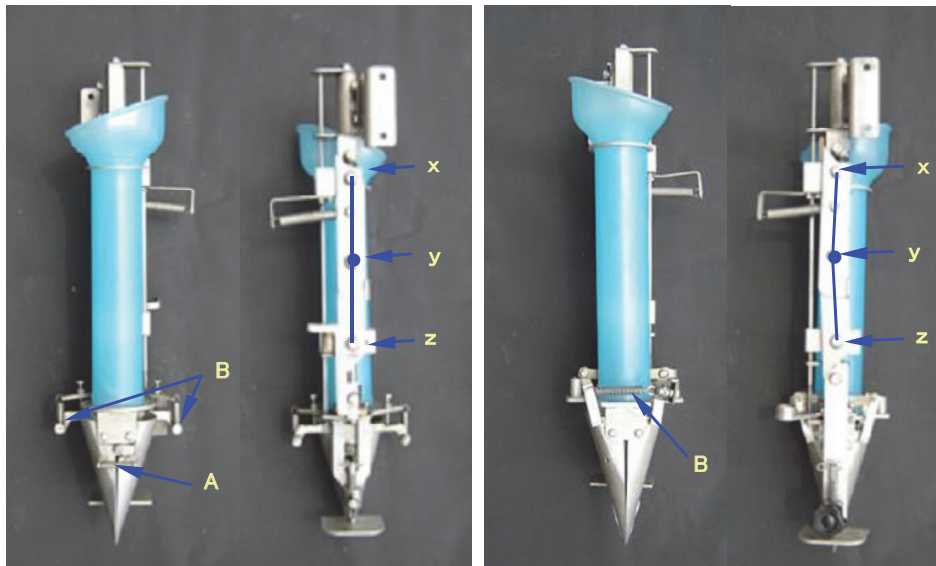


図2-3-1 改良移植ユニットの概略

注) 通常移植ではピンPがヒンジ・レバークラッチの下端Qに作用するとヒンジ・レバーが屈曲し、移植カップは降下しなくなる。また、カップが小石等に当たった場合は、シャフトRがパイプTを介し、上部に抜け、ピンSによりヒンジ・レバークラッチが屈曲する。



標準

改良

図2-3-2 改良移植ユニットの外観

注) 1) 図中、ばねAは移植カップを閉じる方向に働き、ばねBは開く方向に働く。

2) x、y、zは、ヒンジ・レバークラッチのヒンジ点を示し、改良ユニットでは”くの字”状としている。

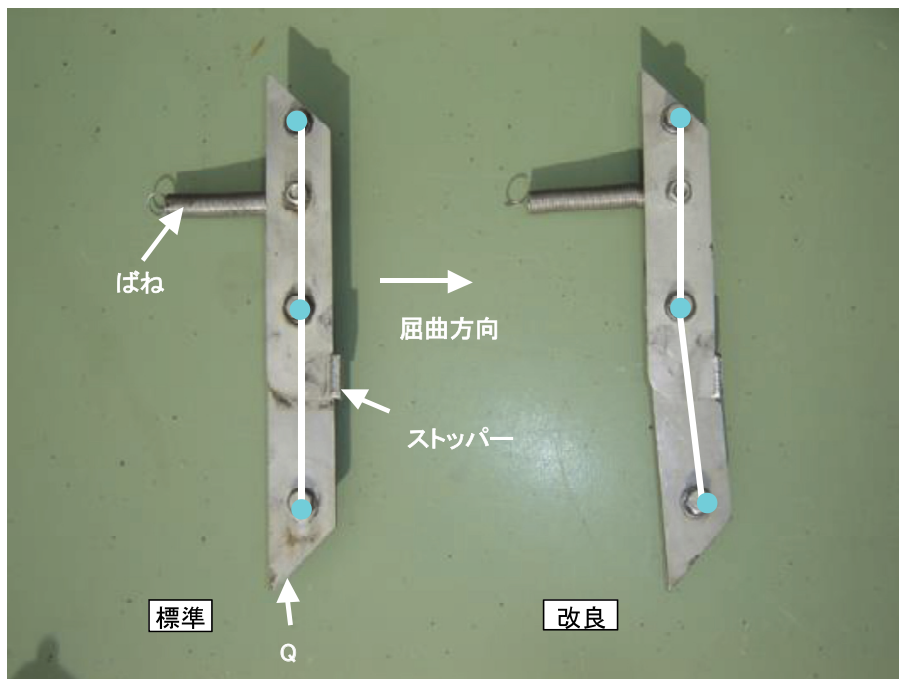


図2-3-3 改良前後のヒンジ・レバークラッチの詳細

注) ヒンジ・レバークラッチは、押し板上昇に伴う力がQ点に作用し、屈曲方向へ曲がる仕組みであるが、「標準」では移植時の衝撃でQ点への作用がなくても屈曲することがあった。

3. 改良移植ユニットの性能試験の方法

3.1 基礎性能試験の方法

万能試験機（島津製 AG-50KND）によって、移植ユニットの降下距離と移植カップの土中降下抵抗の関係を調査した。内径 310mm、深さ 120mm のボウルに粒径を 2～3mm に調整した田土を 110mm 程度の高さに入れ、直径 100mm、質量 1kg の鉄製錘により土表面の硬度が一定の硬さになるよう固めて均平にした。万能試験機の設定は、降下速度（設定可能な最高速度）16.7mm/s、降下ストローク 100mm で一定にした。これら万能試験の設定条件は第 1 節の図 2-1-3 と同様とした。

試験は田土表面の土壌硬度と移植深さを変えて実施した。土壌硬度は大コーンを用いて測定し、深さ 50mm の貫入抵抗で 3 水準（14.7kPa、31.2kPa、42.5kPa）設けた。また、移植深さの設定（移植カップ下端から押さえ板までの垂直距離）は 2 水準（20mm、40mm）設けた。さらに、移植ユニットが小石に当たった場合を想定し、土表面に厚さ 5mm の鉄板を置いて移植ユニットの破損防止機能を調査した。試験の反復数は 1 区当たり 2 回とした。

3.2 定置移植試験の方法

ヒンジ・レバークラッチの改良効果を確認するため、図 2-3-3 に示す改良前後のヒンジ・レバークラッチを 1 基の標準移植ユニットに交互に装着し、それを半自動多条移植機（第 1 節の試作 2 号機）に付け、定置試験で苗の植付け深さを調査した。半自動多条移植機の移植アーム平均降下速度は 213mm/s（標準仕様）とした。苗は標準 200 穴セルトレイで成形される根鉢と同形状のものをネオプレンゴムで作製し、その下部に錘を付けた模擬セル苗を用いた。移植地は万能試験機による作動試験と同様に鉄製錘を用いて田土をボウルに突き固めて供試し、3 水準（10kPa、25kPa、35kPa）を設けた。また、移植深さの設定は 2 水準（20mm、30mm）設けた。試験の反復数は 1 区当たり 4～6 回とした。

3.3 圃場移植試験の方法

標準と改良の各移植ユニットを装着した半自動多条移植機によりレタス苗を異なる畝面土壌硬度と移植深さで移植し、その移植精度を調査した。供試したレタス苗の育苗は標準 200 穴セルトレイによった。供試畝は畝幅 1.8m、畝高 0.18m、マルチ敷設の畝とした。使用したマルチフィルムは、厚さ 0.01mm、幅 1.35m、植穴無しタイプとし、マルチ敷設法はトップマルチ法とした。ただし、本試験では、敷設したマルチ上の培土が移植精度に影響しないようマルチ上の培土を手作業で畝端に掃き集めた。

畝面土壌硬度の違いは 2 水準設けた。このうち畝面土壌硬度が高い区は 0.9m×1.8m のベニヤ板を畝に置き、その上に人（体重 65kg, 1 人）が乗って硬くする方法によった。また、供試機による移植深さの設定は 3 水準（10mm, 20mm, 40mm）設けた。

試験は、半自動多条移植機に改良移植ユニットと標準移植ユニットをそれぞれ 1 基ずつ装着し、1 畝 4 条栽培の内側条と外側条の影響を防ぐため、移植の往路と復路でユニットの取り付け位置を交換した。1 試験区当たりの移植距離は 20m とした。

調査項目は、供試レタス苗の性状、畝面土壌硬度（大コーン貫入抵抗、深さ 5cm）、土壌水分（深さ 0～5cm）、畝表層砕土率（深さ 0～5cm）、移植精度とした。移植精度は、試験区ごとに 40 株を対象として転び苗と傾斜苗の割合、移植深さを調査した。

4. 結果および考察

4.1 基礎性能試験の結果

表 2-3-1 に万能試験機による移植カップ土中降下最大抵抗と降下距離の調査結果を示した。

改良移植ユニットと標準移植ユニットのいずれの場合もカップ土中降下最大抵抗は土壌硬度が高くなると大きくなり、押さえ板の設定位置を高くした場合も大きくなった。また、押さえ板の位置設定（移植深さの設定）が同じであれば、土壌硬度が異なっても降下距離はほぼ一定であった。しかし、改良移植ユニットの土中降下最大抵抗は標準移植ユニットに比べて小さく、降下距離も小さい傾向となった。ちなみに、標準移植ユニットでは、押さえ板の設定位置と降下距離の差が 34～43mm であったのに対し、改良移植ユニットでは 8～16mm となり、改良移植ユニットで小さかった。これは、図 2-3-4 に示すとおり、移植ユニットの P、Q 間の距離 a が改良移植ユニットで短いため、移植ユニットの降下により移植カップの押さえ板が接地し、さらにヒンジ・レバークラッチが屈曲するまでの距離が改良移植ユニットで短いためと考えられた。すなわち、改良移植ユニットには移植カップ“開”フックが不要で、距離 a を短くできる利点があると判断された。

次に、図 2-3-5 に万能試験機による移植カップの土中降下距離と降下抵抗の関係を示した。

改良移植ユニットでは、土中降下距離の増加につれて降下抵抗が移植終了直前付近で急激に上昇したのに対し、標準移植ユニットでは押さえ板が接地した後、徐々に上昇する傾向であった。これは、図 2-3-2 に示すとおり、標準移植ユニットでは移植カップを

閉じる方向に作用するばね A の働きがユニットの降下につれて大きくなるのに対して、改良移植ユニットでは移植カップを閉じる方向に作用するばね A がなく、移植カップ開閉用ヒンジ・レバーの解放の直前にだけ土中降下抵抗が生じるためと考えられた。

以上の結果、改良移植ユニットは、移植カップが“開”位置となるための押さえ板の上昇距離が標準移植ユニットより短く、所要力も小さいため、実際の移植作業では押さえ板が土表面の高さを感知しやいと考えられた。

なお、土表面に鉄板を置いて行った移植ユニットの破損回避機構の作動確認では、移植カップの降下距離が改良移植ユニットで浅かったものの、破損回避機構の作動力はいずれのユニットも 32 N であった。

表2-3-1 移植カップ土中降下最大抵抗と降下距離

移植ユニット区分	押さえ板位置mm	土壌硬度kPa	土中降下最大抵抗N	土中降下距離mm	設定深さとの差mm
改良	20	15	26.8	36	16
	20	31	29.4	31	11
	20	43	27.0	31	11
	40	15	41.9	48	8
	40	31	73.1	54	14
	40	43	63.0	54	14
	—	鉄板	31.5	27	—
標準	20	15	63.8	57	37
	20	31	76.3	55	35
	20	43	82.5	55	35
	40	15	90.4	83	43
	40	31	108.8	75	35
	40	43	107.8	74	34
	—	鉄板	31.5	40	—

- 注) 1) 能試験機の設定は、降下速度16.7mm/s、降下ストローク100mm。
 2) 押さえ板位置（設定深さ）はカップ下端から押さえ板までの垂直距離。
 3) 移植カップの降下距離は、土表面からの垂直距離。

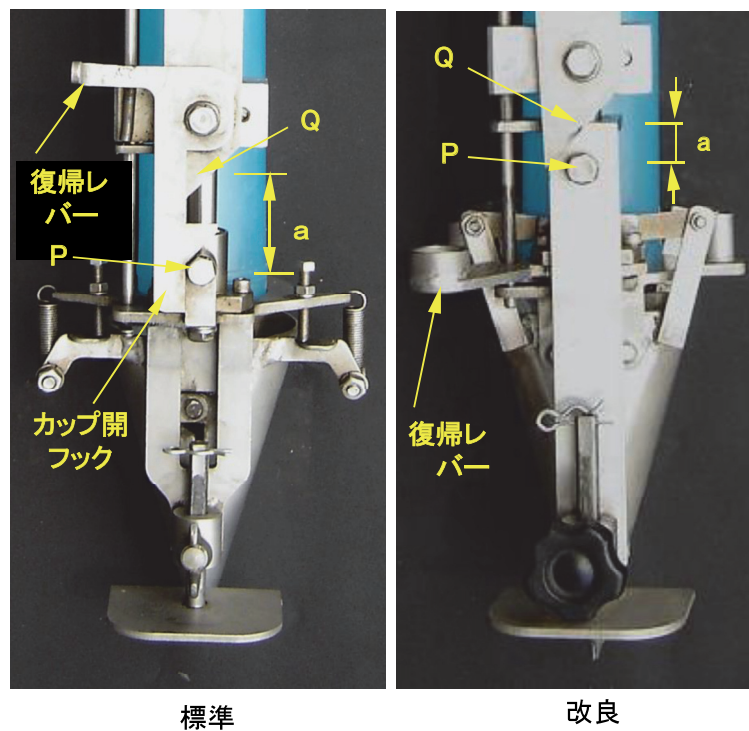


図2-3-4 移植ユニット下部の詳細

注) 「標準」には移植カップ”開”を保持するためのフックがあるため、距離 a を「改良」のように短くできない。

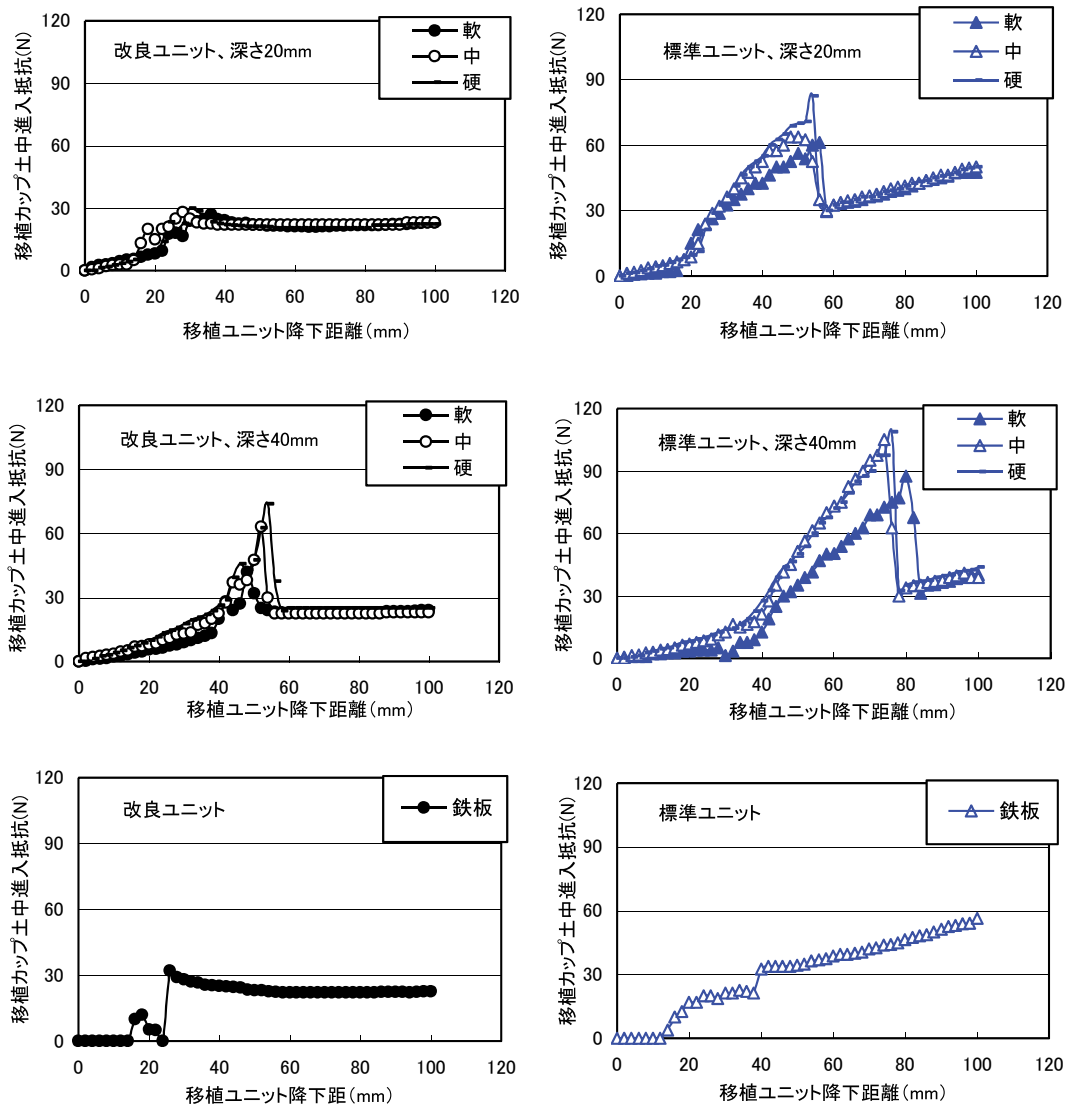


図 2-3-5 オートグラフによる移植カップの土中降下抵抗と降下深さ

注) 図中凡例の硬, 中, 軟は畝表面硬度を示し, それぞれ, 42.5 kPa, 31.2 kPa, 14.7 kPa である. また, 「鉄板」は土表面に鉄板を敷いた場合を示す.

4.2 定置移植試験の結果

表 2-3-2 に改良ヒンジ・レバークラッチを装備した移植ユニットによる模擬セル苗の移植試験結果を示した。

押さえ板位置の設定位置に関係なく、改良ヒンジ・レバークラッチの装着によって移植深さは全体に大きくなった。これは図 2-3-4 中のピン P が押さえ板上昇によってヒンジ・レバー下端 Q に作用し、ヒンジ・レバークラッチが屈曲する際、改良ヒンジ・レバークラッチでは初期位置を“くの字”状としているのでピン P の作用の前に屈曲することが無く、かつ、屈曲に必要な力が標準ヒンジ・レバーより大きくなるためと考えられた。

ヒンジ・レバークラッチが移植時の衝撃によって不意に屈曲するのを防ぐにはヒンジ・レバーに付けた図 2-3-3 のばねを強くする方法も考えられるが、屈曲時のばねの伸びに伴う反力の増加が懸念された。このため、ヒンジ・レバークラッチの初期位置を“くの字”状とする改良の方が有効と考えられ、安定した移植深さの確保に効果があると考えられた。

表2-3-2 改良ヒンジレバークラッチを装着した標準移植ユニットによる模擬セル苗の移植試験結果（定置試験による。数値は移植深さ。単位はmm）

土表面 硬度 kPa	改良ヒンジ・レバークラッチ 押さえ板位置		改良前ヒンジ・レバークラッチ 押さえ板位置	
	20mm	30mm	20mm	30mm
10	-19	-31	-20	-26
25	-12	-18	-10	-15
35	-10	-18	-8	-10

注) 1) 移植機定置試験により、模擬セル苗（ウレタンゴム製）とボウル+田土を利用して調査した。
2) 田土の付き固め法は表2-3-1に示した方法に準じる。
3) データは4～6回の平均値。負数は土表面より下になったことを示す。

4.3 圃場移植試験の結果

表 2-3-3 に供試苗の性状を示し、表 2-3-4 に移植ユニット別の正常植え率を示した。また、図 2-3-6 に移植試験の様子を示した。

供試苗は冬季の育苗であったため、葉齢 6.0 と高かったものの、草丈は 37mm と小さかった。また、機械化移植の適否を示す根鉢強度指数（地上高 50cm の高さからコンクリート面にセル苗を落下させた場合の落下前後の質量比率）は 96.2% と高かった。

供試畝の畝表面硬度は低区 23 kPa と高区 48 kPa で、畝表層 0～5cm の土壤水分は 29.0 % (d.b.)、砕土率は 61.8% であった。

標準移植ユニットの正常植え率は転び苗，傾斜苗の発生によって 66.3～97.5 %に留まった。特に，畝表面硬度が高く，押さえ板位置が大きい場合は転び苗が発生して正常植え率は大きく低下した。これに対して，改良移植ユニットの正常植え率は 98.8～100%となり高位に安定していた。

表2-3-3 供試苗の性状

項目	全重 g	草丈 mm	葉数 枚	最大葉幅 mm	生苗重 g	根鉢強度
						指数 %
平均値	7.9	37	6.0	22	1.6	96.2
標準偏差	2.0	9	1.5	4	0.5	—

- 注) 1) 品種：シスコ，1月9日播種，3月24日移植。200セルトレイ使用。20個体の調査結果を示す。
2) 根鉢強度指数はセル苗を高さ50cm からコンクリート面に落下させた際の落下前後質量の比率を示す。

表2-3-4 移植ユニットと正常植え率(%)

畝面硬度 kPa	改良ユニット押さえ板位置			標準ユニット押さえ板位置		
	10mm	20mm	40mm	10mm	20mm	40mm
23	98.8 (0.0)	100	100	98.8 (0.0)	97.5 (2.5)	86.3 (12.5)
48	100	100	100	96.3 (2.5)	90.0 (5.2)	66.3 (32.5)

- 注) 1) 転び苗は1，傾斜苗(倒伏角 45 度以上)は 0.5 とし，畝の内外条合わせて 40 株を調査した。
2) カッコ内数値は転び苗の割合を示す。
3) 土壌水分 29.0%，砕土率 61.8%(土塊径 1cm 以下)。



図2-3-6 移植試験の様子

- 注) 1 畝 4 条の移植において，片側 2 条を同時移植している状況。左側 2 条は既移植，右 2 条を移植中。

表 2-3-5 に正常に移植されたレタス苗の移植深さとその標準偏差を示した。

移植深さは、押さえ板位置を 10mm から 40mm に大きくすると深くなったが、その変化量は改良移植ユニットで大きかった。これは改良移植ユニットの方が設定する移植深さに対して正確に反応しているためと考えられた。また、移植深さの標準偏差は全体に改良移植ユニットで小さい傾向となり、標準移植ユニットより安定していた。

以上のことから、移植精度低下の移植機側の原因として挙げられたヒンジ・レバークラッチの早期屈曲対策として、改良移植ユニットは有効であると考えられた。

なお、表 2-3-1 に示した万能試験機による移植カップ土中降下最大抵抗と降下深さの調査結果では、移植カップの降下深さは、標準移植ユニットが改良移植ユニットに比べて平均で 24mm 深かった。このため、圃場移植試験における移植深さも標準移植ユニットで深くなると考えられたが、表 2-3-4 に示すとおり標準移植ユニットでは転び苗が多く生じるなどして、移植深さは改良移植ユニットに比べて浅くなった。この理由として、移植ユニットの降下速度の違いが挙げられ、圃場移植試験での 213 mm/s に対して、万能試験機による試験では 16.7mm/s と遅く、このため、万能試験機による試験では生じなかったヒンジ・レバークラッチの早期屈曲が圃場移植試験で生じたものと考えられた。

表 2-3-5 圃場移植試験において正常に移植された苗の移植深さと標準偏差(mm)

畝面硬度 kPa	項目	改良移植ユニット 押さえ板設定位置			標準移植ユニット 押さえ板設定位置		
		10mm	20mm	40mm	10mm	20mm	40mm
23	平均	11	-2	-8	5	-1	-8
	標準偏差	5.7	4.2	4.9	3.8	5.5	7.4
48	平均	13	3	-3	9	1	-5
	標準偏差	3.3	2.9	2.9	4.6	5.4	5.9

注) 1) 移植株数は 40 株、転び苗と傾斜苗は除外した。

2) 移植深さの負数はセル苗の上辺が畝面より深く移植されていることを示す。

5. まとめ

第 1 節で開発した半自動多条移植機における移植精度低下原因のうち、ヒンジ・レバークラッチの早期屈曲による転び苗については、ヒンジ・レバークラッチの初期状態を“くの字”とすることで発生を防ぐことができた。また、移植カップがマルチフィルムに楕円状の移植穴を開ける際、移植穴中央部にブリッジ状のマルチフィルムが残って植え穴にセル苗が挿入されずに生じる転び苗については、その発生原因が移植ユニットに

レタス苗を投入した際の衝撃で生じる移植カップ先端の間隙に起因していることから、移植カップ開閉部にヒンジ・レバーを用いることによって、押さえ板が接地しない限り移植カップには閉じ力が作用する構成とすることができ、ブリッジ状マルチフィルムを防止する効果が認められた。

移植ユニットの改良によって以上の転び苗の防止効果に合わせ、特に移植カップ開閉部にヒンジ・レバーを用いたことにより押さえ板による畝面の感知精度が向上したことは移植精度の確保に有効であると考えられた。

第Ⅱ章・第3節の参考文献

(1)山浦浩二，2004，レタス用半自動多条移植機，農業技術，59-7，294～289

第三章 トンネル支柱打込み装置の開発

第1節 全自動トンネル支柱打込み装置の開発

1. トンネル支柱打込み装置に関するこれまでの取り組み

1～3月収穫を中心とした冬どりが主体の香川県内で栽培されるレタスは、保温と品質確保、計画的出荷のためにトンネル栽培が必要である。通常、トンネル被覆作業は外気平均気温が10～12℃を下回る12月上旬に実施するが^(1,2)、この時期は他の作型の移植や収穫と作業が重なることや荒天日が多いことなどから農家の負担は大きく、規模拡大のネックにもなっている⁽³⁾。トンネル被覆作業の所要時間は、著者らが調査した結果では10a当たり延べ時間で16.1時間を要している⁽⁴⁾。トンネル被覆作業の省力化に対する農家の要望は高く、その要望の割合は調製、包装、出荷作業27.1%に次ぐ23.5%との調査結果があり⁽⁵⁾、特に労力を要する支柱設置作業の機械化が急務な課題となっている。

トンネル被覆作業の機械化に関しては、1995年時点で支柱打込みとビニル展張を同時に行うことができる機種としてM社のMMT120が開発されていた。本機はトラクタ半直装式で、U字型鋼管製支柱を油圧シリンダの力で打ち込み、同時にビニルを展張してその裾部を土で止めてゆく方式のもので、70本の支柱を支柱タンクにあらかじめ整列して装填しておき、それを連続作業で設置する方式である。福岡県農総試が調査した畝幅1.1mのリーフレタスへの適用事例⁽⁶⁾では、2人作業で支柱長2.3m、ビニル幅2.3m、支柱設置ピッチ0.7m、作業速度0.21m/sで作業能率は3.2時間/10aとなり、2人作業による人力方式の8倍であった。しかし、香川県内のレタス栽培への適用は、次に掲げる理由により困難であると思われた。

- (i) 適応する畝幅は使用する乗用トラクタの輪距により定まり、畝幅1.8mのレタス栽培に乗用トラクタの輪距を適合させることは困難である。
- (ii) 乗用トラクタ半直装式であることから全長が長くなり、枕地旋回に3mを要することから狭小圃場には適さない。
- (iii) 支柱打込みだけの単機能機として利用する場合、支柱を事前に整列装填する時間が全作業時間の42%を占めることから⁽⁶⁾、大幅な能率向上を図ることが難しい。
- (iv) U字型鋼管製支柱は経年変化で変形していることが多く、機体に整列装填できない場合がある。また、打込み時に破損する支柱が多い⁽⁶⁾。

このため、香川県内のレタス栽培に適合する支柱打込み装置を新規に開発することとした。

2. 開発機の目標仕様

香川県内でのトンネル被覆の特徴は、レタス生育期間中に換気を行うため、被覆資材の固定に土を使わずペグと紐を利用した固定法としている点にある。作業の内訳と順序はトンネル支柱設置→被覆フィルム展張→展張被覆フィルムの位置修正→ペグ仮設置→紐掛け→ペグ増打ちであり、最終的には、これら作業の全面的な機械化が望まれるところであるが、①紙管パイプに巻いて保管している前回作利用の被覆フィルムは、丁寧に巻かれていないのでその展張作業は機械化が難しいこと、②紐掛けや紐止めペグの打込み設置作業の機械化は開発要素が多く、短期間での実用化は困難であると想定できることから当面は労働強度が高い支柱打込みだけの単機能作業機として開発することとした。単機能機として開発する場合はその作業能率が手作業による慣行法より大幅に大きいことが重要であり、トンネル支柱の繰出しと打込み部への装填が自動の全自動式が適すると考えられた。また、適用するトンネル支柱は機械化適性の高い断面形状が丸形で直状のグラスファイバ製とした。

以上のことから、JAの農家支援等で利用することを想定し、次の項目を開発機の目標仕様とした。

- (i)適用支柱は直状グラスファイバ製の丸断面のもので、その直径は7.5～10.5mmとし、長さは畝幅1.8mに適合するよう2.1～2.4mであること。
- (ii)支柱供給が自動の自走式で、適用できるレタス畝幅は1.5～1.8mであること。また、支柱の打込み幅は最大1.5m、打込み深さは最大25cm、最大打込み力は最大1000N程度であること。
- (iii)支柱の設置ピッチは0.6～1.2mで、走行部が任意のピッチで自動間欠走行する間の停止時に支柱を設置する方式とすること。
- (iv)支柱設置精度は高位に安定していること。また、作業能率が慣行手作業に比べて大幅に向上していること。

3. 試作機の概要

試作機は、輪距調整が可能なクローラ式の歩行形畝間走行台車（以下、台車）に支柱打込み部を搭載したもので、その主要諸元と外観を表3-1-1および図3-1-1に示した。

表3-1-1 試作機の主要諸元

項目	摘要
機体	主要寸法 全幅（可変）1,510mm～2,470mm×全長2,230mm×全高1,190mm
	全質量 520kg
走行部	走行方式 クローラ方式：履帯幅110mm×接地長930mm×高さ380mm：輪距（可変）1,120～1,810mm.
	変速機 HST（前進最速0.73m/s, 後進最速0.55m/s）
	搭載動力 ガソリンエンジン（定格出力3.2kW/1800rpm）
	搭載発電機 オルタネータ（DC12V-50A）
支柱 打込み部	打込み方式 油圧駆動によるリンク方式，油圧シリンダ直径32mm，ストローク125mm，2基，油圧源：パワーパッケージ：リリーフ圧5.3MPa.
	適応支柱 グラスファイバ製支柱，断面丸形，直径7.5～10.5mm，長さ1.8～2.4m.
	支柱タンク 容量：直径8.5mmの場合約400本，タンク底部加振式：2Hz；振幅5mm.
	打込み幅 最大1.5m
	打込みピッチ 0～2.0m
	打込み深さ 0～0.3m

- 注) 1) 打込み幅は左右の打込みユニット間隔と輪距調整による。
 2) 打ち込みピッチは走行軸に設けたエンコーダ信号により設定できる。
 3) 打ち込み深さは油圧シリンダのストローク調整と支柱押さえガイドの位置で調整できる。

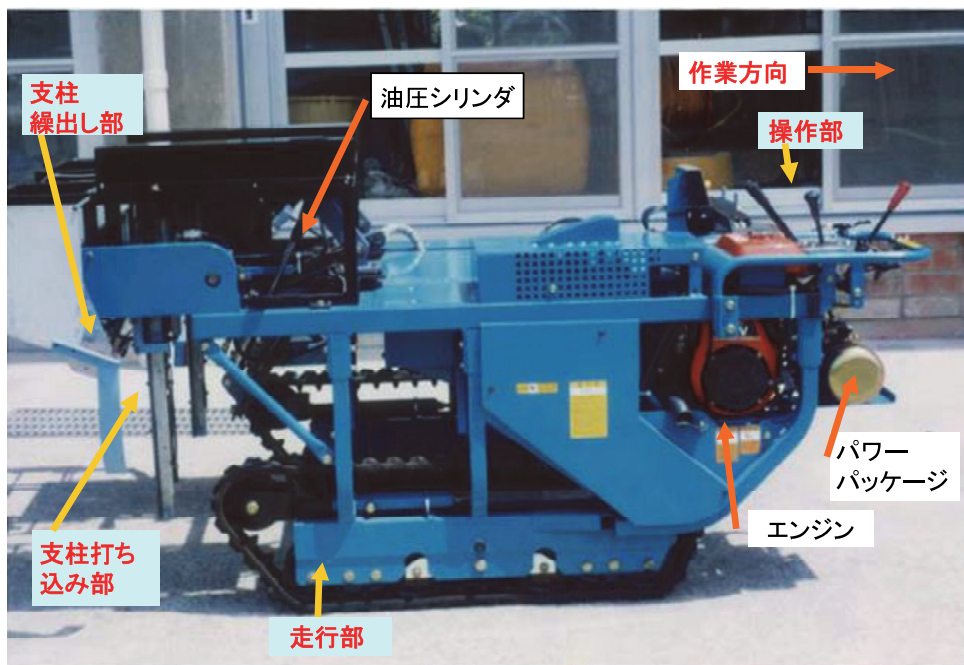


図3-1-1 試作機の外観

試作機の特徴は次のとおりである。

- (i) 主要寸法は全幅 1,510~2,470mm, 全長 2,230mm, 全高 1,190mm で, 輪距は可変で送りネジの作用で走行に併せて拡張でき, これに応じて全幅も可変する。作業時以外の農道走行時等は縮小しておき, 作業時に拡大して畝幅に合わせる。全質量は 520kg である。
- (ii) 動力は 3.2kW のガソリンエンジンで, 走行部や発電部, 油圧ポンプ等の動力源としている。走行部変速機には HST を搭載しており, 最大前進速度 0.73m/s, 同後進速度 0.55m/s の範囲で連続可変する。なお, 打込み作業中の台車は後進方向に作業し, 台車中央部地上高は 850mm で既設支柱上を通過することができる。
- (iii) 支柱タンクには支柱断面の直径が 8.5mm の場合, 400 本程度投入することができる。支柱タンク底部の傾斜角は 25 度としており, 摩擦係数の低い樹脂製の支柱支持レール 4 本によって支持される。支柱タンク内部には支柱の流下方向とは逆方向に回転する切欠き円盤があり, タンク底部に設けた DC モータによる加振作用 (振動数 2Hz, 振幅 5mm) との組み合わせにより支柱は整列し, 端部の突出し棒により所定のタイミングで 1 本ずつ繰出される。
- (iv) 繰出された支柱の把持湾曲は左右 2 個 1 組のローラ (以下, 把持湾曲ローラ) で行う。すなわち, 把持湾曲ローラは打込みフレームの降下に併せて相互に内回転して支柱を U 字型に把持湾曲し, 支柱を畝に打込む。打込みフレームの昇降には左右 2 基の油圧シリンダ (直径 32mm) を使用しており, その油圧源はエンジン駆動のパワーパッケージ (リリース圧 5.3MPa) を用いている。
- (v) 打込み作業中, 台車は HST アンロード弁の自動入・切によって間欠走行する。すなわち, 把持湾曲された支柱が畝に打込まれ, 打込みフレームが最下端に達すると走行が開始し, 走行軸に設けたエンコーダが設定回転数をカウントすると走行停止する。なお, 走行に併せて打込みフレームは上昇し, 次支柱を繰出し停止時には次サイクルの準備が整う。
- (vi) 支柱の打込み幅は, 輪距もしくは左右の把持湾曲ローラ間を調整することで調整できる。また, 打込み深は主に油圧シリンダのストロークで調整できる。
- (vii) 発電部は, 12V-50A のオルタネータを搭載しており, バッテリーを介して各種 DC モータ, 制御部の電源としている。
- (viii) 制御部はシーケンサ方式 (I/O ポート 20 点) としており, 図 3-1-2 のフローチャートに示すとおり, 自動間欠走行を目的とする走行系と支柱の自動繰出し・打込みを目

的とする支柱打込み系に区分される。

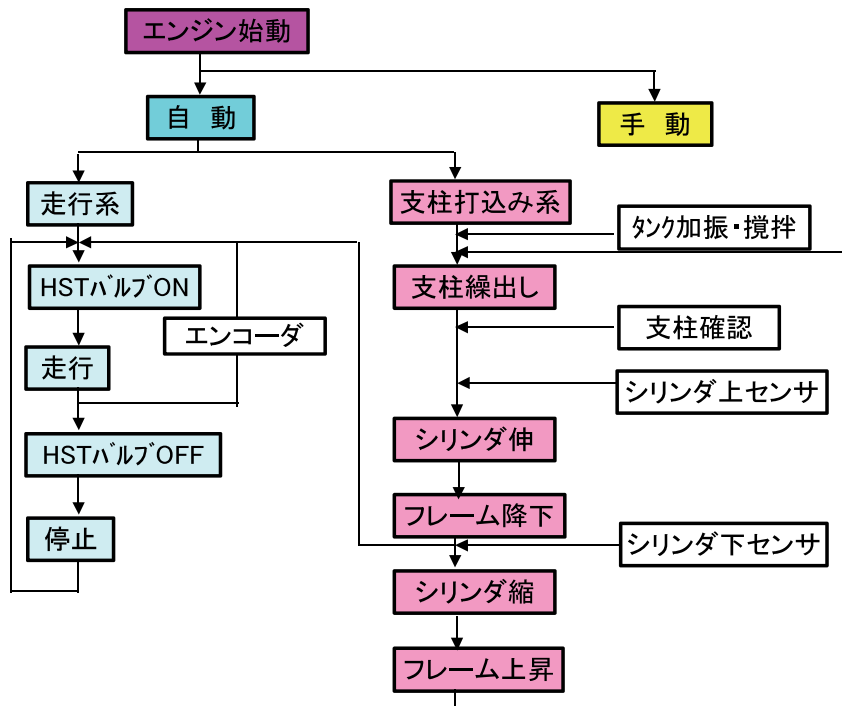


図 3-1-2 動作制御フローチャート

4. 基本性能に関する試験

4.1 試験方法

試作機の基本性能や最適化のための調整方法を明らかにするため、①支柱繰出し精度、②把持湾曲打込み精度、③既設支柱分離精度、④間欠走行時の打込みピッチと所要時間打込み所要時間、⑤設置支柱の強度、⑥自動間欠走行時の機体前進タイミング、⑦操作性と旋回性について調査した。このうち、①～③は定置試験、④～⑦は圃場試験によった。

供試支柱は主に断面直径 8.5mm、長さ 2.3m とし、他に直径 7.5mm、9.0mm、10.5mm も使用した。また、圃場試験に供試した畝は畝幅 1.8m、畝天幅 1.4m、畝高 0.2m で、香川県内の標準的 4 条植え栽培様式とした。

4.2 結果および考察

4.2.1 支柱の繰出し精度

支柱繰出し部の模式図を図 3-1-3 に示した。使用する支柱は細く長いため、たわみが

生じ易く、繰出し部の調整条件によっては2本出しや詰まりが生じた。これには切欠き円盤と支柱支持レールの間隙を支柱直径の1.5倍程度に調整すると軽減できた。また、切欠き円盤の作用位置は支柱支持レールに近い場所とすることが有効であった。それでもタンク最前列の支柱が後方からの流下力で整列位置から上方にわき上がり、2本出しが生じることがあった。これには支柱支持レールの角度を緩くすることも一つの対処法と考えられるが、角度を緩くすることによって下方への流下力が不足して繰出し欠となることを防ぐ方が重要と判断し、図3-1-3に示すようなわき上がり防止ばねや支柱タンク端部に流下角変更板を設けたところ、わき上がりや2本出しはほぼ防止することができた。

切欠き円盤は左右に2個ずつ合計4個あるが、左右は個別のDCモータで駆動させており、その回転は左右で同期しなかった。したがって、円盤の切欠部が支柱に作用するタイミングは左右で独立していたが、そのことによる繰出し精度の低下はみられず、同期の必要性はないものと判断された。

この他、支柱の経年変化による繰出し精度に及ぼす影響を購入後8年間利用した支柱を供試して調査したところ、支柱には”曲がり癖”があったものの、ほとんど支障無く利用することができた。

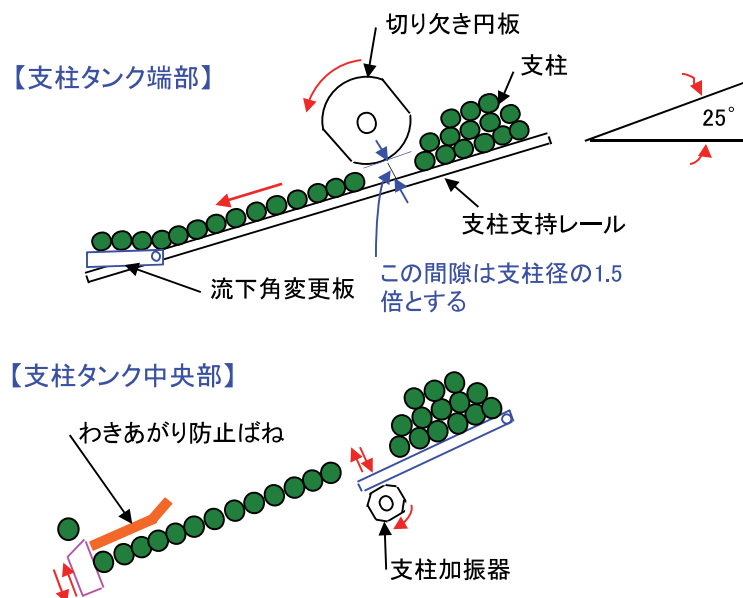


図3-1-3 支柱繰出し部の模式図

4.2.2 把持湾曲打込み精度

支柱の把持湾曲過程の模式図を図3-1-4に示した。

支柱湾曲過程は、まず、①2個1組の支柱把持湾曲ローラに自動繰出された支柱が装填される。②支柱の装填が図示しないセンサにより確認されると打込みフレームが降下し、それに併せて把持湾曲ローラが歯車機構によって回転し、支柱の把持湾曲が始まる。この際、支柱の脚部は支柱曲げガイドに沿って湾曲するので、支柱の左右脚長は同じ長さとなる。③打込みフレームがさらに降下し、支柱の畝への打込みが始まり、打込みが終わると打込みフレーム昇降レール下端部に備えたドッグにより把持湾曲ローラの把持力が解除され、打ち込みが終了する。

当初、把持湾曲ローラの回転軸に対する取付け方法は、湾曲後の支柱脚長が同じになることを目的にやや回転抵抗のある調整として

いたが、4個の把持湾曲ローラの回転抵抗を同じにすることが困難で支柱に無理な力が加わって破損することがあった。このため、把持湾曲ローラは個々に自由回転する取付けとし、支柱タンク両端部に支柱曲げガイドを設け、支柱の湾曲始めに生じる左右方向のずれを支柱曲げガイドで制限したところ、湾曲後の支柱両端の脚長が揃い易くなる効果を得た。

湾曲後の支柱脚部の畝面に対する角度は、それが畝の内側や外側に傾斜していると打込み時に支柱に無理な力が加わり、支柱が破損する原因になった。調査の結果、ほぼ垂

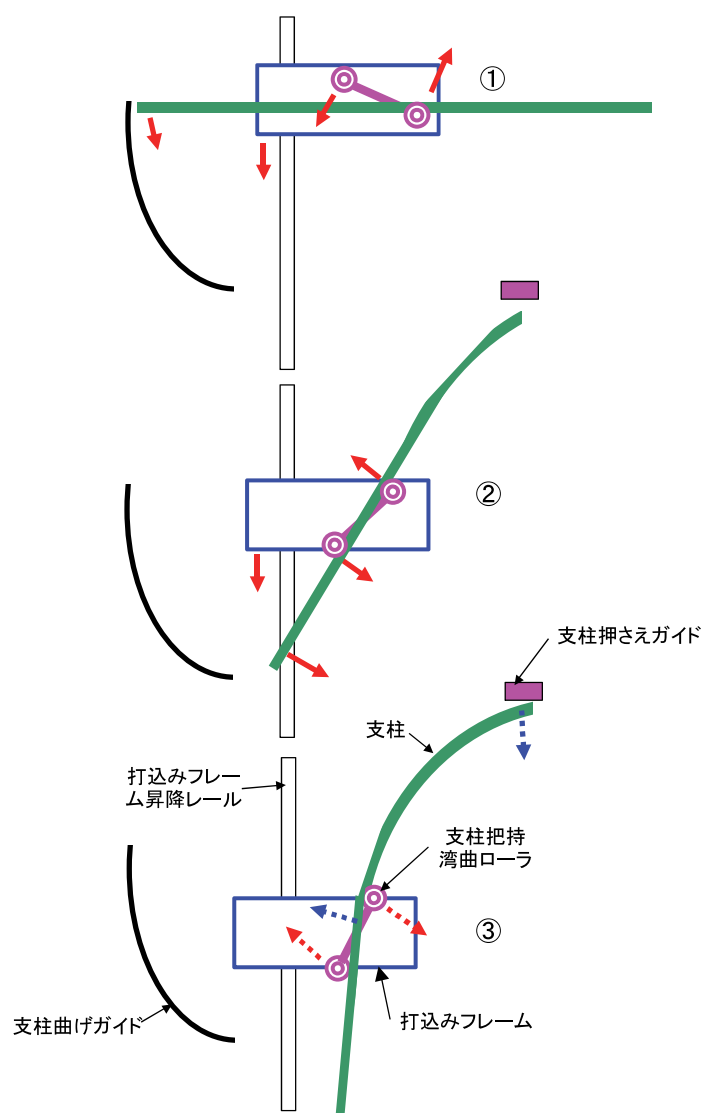


図3-1-4 支柱の把持湾曲過程

直の場合が良いと考えられた。なお、把持湾曲ローラの支柱把持力は支柱がU字型になった時点で最も強く作用しており、この把持力は畝からの打込み反力に耐えうる程度に強いものであった。

この他、左右の油圧シリンダが作用するタイミングはほぼ同時であることが支柱両端の脚長を揃える上で重要であった。これには油圧ポンプと油圧シリンダを連結するホース長を同じにすることはもちろんのこと打込みフレームの上下昇降抵抗をやや大きく調整しておくことが有効であった。

4.2.3 既設支柱の分離精度

把持湾曲された支柱が畝に打込まれ、打込みフレームが昇降レールの下端に達すると、支柱の把持湾曲力は解除され、2個1組の把持湾曲ローラは相互に内回転し、初期位置に戻る。その状態で打込みフレームが上昇すると既設支柱に把持湾曲ローラが干渉することとなった。これには支柱が図 3-1-4 の③図の青矢印に示すとおり畝外側に膨れている間に台車機体部が移動することが重要であると考え、打込みフレームが上昇中に機体が移動するよう時間調整したところ、スムーズな分離となった。

4.2.4 間欠走行時の打込みピッチと所要時間

走行部の HST のレバー位置は一定とし、エンジン回転数だけを 3 水準（630rpm, 1,100rpm, 1,700rpm）で変化させた場合の支柱打込み所要時間や間欠走行速度、打込みピッチへの影響を調査した。結果を表 3-1-2 に示した。

3 水準のエンジン回転数に対し、パワーパッケージ油圧ポンプの回転数は 570rpm, 1,000rpm, 1,500rpm となった。打込み所要時間はポンプ流量の増加に伴い短縮化され、ポンプ回転数が 570rpm の時、所要時間は 7.0s/本、同じく 1,500rpm の時、2.9s/本であった。また、この間の打込みフレーム平均速度は昇降ストローク 440mm として 0.13m/s が 0.30m/s に、台車走行速度は 0.14m/s から 0.38m/s に、間欠走行時の停止時間も含めた速度は 0.11m/s から 0.24m/s に増加した。一方、間欠走行時の支柱打込みピッチ（台車の停止間隔と一致する）は 0.68m から 0.80m になり、ポンプ流量の増加に伴い長くなった。これは、間欠走行を HST アンロード弁の入・切による方法としているため、停止時にはブレーキ機能が作用せず、台車の走行速度が速いほど慣性力が大きくなり、停止間隔が長くなったものと考えられた。ただし圃場での実作業では、走行速度を一定としているため、支柱打込みピッチのむらは少ないと考えられた。

表3-1-2 エンジン回転数と支柱打ち込みピッチおよび所要時間

エンジン 回転数 (rpm)	油圧ポンプ 回転数 (rpm)	走行速度 (m/s)	間欠走行 速度 (m/s)	打ち込み ピッチ (m)	打ち込み所要時間 (sec)			打ち込み平 均速度 (m/s)
					上昇	降下	合計	
630	570	0.14	0.11	0.63	4.3	2.7	7.0	0.13
1,100	1,000	0.22	0.16	0.73	2.5	1.7	4.2	0.21
1,700	1,500	0.32	0.24	0.80	1.7	1.2	2.9	0.30

注)HSTのレバー位置は一定とした。打ち込みフレームの昇降ストロークは440mm。

4.2.5 設置支柱の形状と強度

使用する支柱の直径と長さが設置後のトンネル高に及ぼす影響と設置後の支柱強度について調査した。このうち設置後の支柱強度はトンネル状になった中央最高部に対し、水平方向に押した場合と垂直方向に押した場合の変位に対する反力をそれぞれプッシュプルゲージ（アイコー電子：モデル C-3）で計測した。結果は図 3-1-5、表 3-1-3 に示した。

図 3-1-5 において、設置後のトンネル高は打ち込み幅が大きく、支柱長が短いほど低くなったものの、断面直径の影響はほとんどみられなかった。また、表 3-1-3 において設置後の水平曲げ反力は、断面直径が大きく、長さが短いほど高くなった。同様に垂直圧縮反力も支柱が太くて短いほど高い値を示した。なお、直径 7.5, 8.5, 10.5mm 支柱の断面 2 次モーメントはそれぞれ 143, 236, 533mm⁴であった。

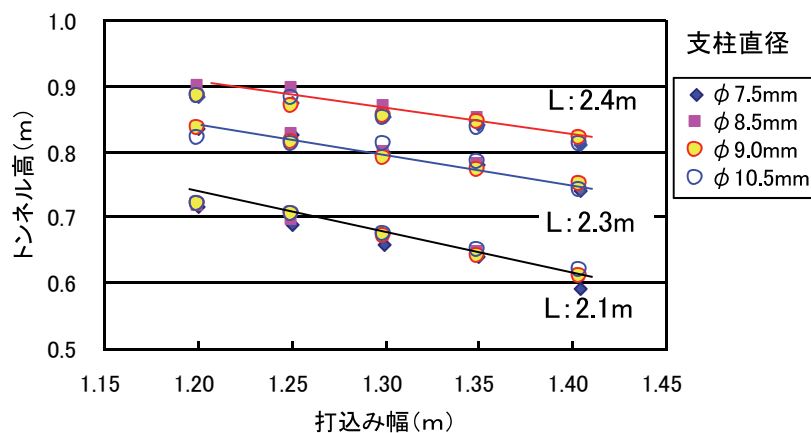


図 3-1-5 支柱長(L), 支柱直径(φ), 支柱打ち込み幅とトンネル高

注) グラスファイバ製、トンネル高には畝高 0.2m を含む。

表 3-1-3 グラスファイバ製支柱の性状と設置時の強度

支柱断面 直径 (mm)	内径 (mm)	長さ (m)	質量 (g)	断面2次 モーメント (mm ⁴)	トンネル高 (m)	水平曲げ 反力 (N/mm)	垂直圧縮 反力 (N/mm)
10.5	6.0	2.4	207	533	0.69	8.8	191
8.5	4.5	2.4	145	236	0.69	5.0	94
8.5	4.5	2.2	133	236	0.58	5.8	102
7.5	4.0	2.4	112	143	0.69	2.0	52

注) 打込み幅1.3mと打込み深さ0.15mは一定とした。

4.2.6 自動間欠走行時の機体前進タイミング

自動間欠走行時の走行開始は打込みフレームが下端に達した時であり、打込みフレームの上昇に併せて台車が発進することは、前述のとおり既設支柱を分離する上で重要であった。しかし、支柱タンク最前列の支柱は地上高 **0.75m** であって、作業方向のうえでは打込み部がタンクより前部に位置するため、トンネル高が **0.55m** (畝高 **0.2m** を加えると **0.75m**) を超える設置条件 (前掲図 3-1-5 参照) では既設支柱がタンク最前列の支柱に干渉し、支柱繰出し精度が低下することとなった。

これには支柱タンク位置を高くすることも有効であるが、台車高が高くなるとオペレータへの威圧感が増すとともに重心上昇により安定性が低下する懸念があることから、図 3-1-6 に示すとおり、シーケンサの内部クロックを利用してツマミ調整で支柱設置後の打込みフレーム上昇タイミングを遅延させ、打込みフレームが既設支柱を押さえている間に支柱タンク部を通過させるようにした。例えば、支柱長 **2.3m**、打込み幅 **1.25m** の場合、畝高 **0.2m** を含むトンネル高は **0.82m** となり、干渉回避には **0.5s** の上昇タイミングの遅延が有効であった。なお、遅延時間が長くなりすぎると走行中にも上下移動防止用押板が既設支柱の天部を押さえたままとなり、支柱を分離した際に支柱が大きく揺れ、打込み不良の原因になった。

4.2.7 操作性と旋回性

作業中のオペレータは、正常運転時には主に台車の走行方向に注意するだけであったが、支柱が正確に打込まれなかった場合などトラブルが発生した時はオペレータが作業部に移る必要があった。しかし、栽培様式が高畝広幅で、かつ、レタス栽培中ではオペレータの移動が困難であるため、補助者が作業部側に位置することが重要であると考え、それを前提として作業部側にも操作スイッチを配置し、一時停止・再始動が行えるようにした。

試作機の旋回半径についてコンクリート面で調査した結果、輪距 1,750mm の場合、旋回中心は固定側クローラの接地前端部から 250mm の箇所であり、旋回半径は 1.88m であった。実際の圃場における旋回では、台車が畝部から抜け出る必要があり、その距離はクローラの接地長 (930mm) である。したがって、旋回に必要な枕地幅は旋回半径に固定側クローラの旋回中心までの距離を加えた 2.56m 以上必要であると判断された。

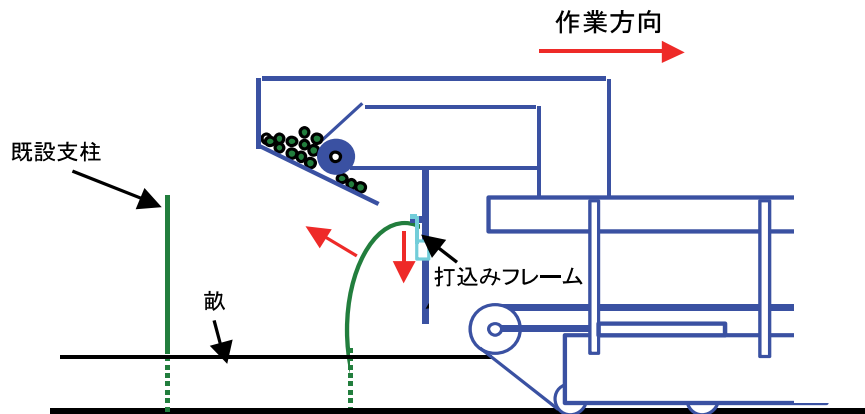


図3-1-6 打ち込みフレーム上昇遅延による
既存支柱の干渉回避の概念

注) 打ち込みフレームの上昇タイミングを遅延させて干渉を回避する。

5. 作業性能に関する圃場試験

5.1 試験方法

試作機の作業性能を把握するため、農試圃場 5a と現地農家圃場 (観音寺市内: 以下、現地圃場) 10a で支柱打込み作業を行い、その時の作業精度と作業能率を調査した。供試圃場のレタスは、いずれも 2 月どりレタスで、播種日 10 月上旬、移植日 11 月中旬で支柱設置は 12 月上旬とした。

農試圃場のレタスは畝幅 1.8m の 4 条植え栽培で、幅 2.0m のトンネル被覆フィルムの利用を前提として直径 8.5mm、長さ 2.3m のグラスファイバ支柱を使用した。現地圃場は畝幅 1.6m の 4 条植え栽培で幅 1.85m の不織布被覆を前提としており、直径 8.5mm、長さ 2.25m のグラスファイバ支柱を使用した。この場合、いずれの圃場も畝立てには畝立てマルチ敷設機を利用しており、レタスを栽培しない枕地は幅 2.5m を長辺方向の両側に設けた。

農試圃場での試験において、作業速度は 0.14m/s と 0.20m/s の 2 水準としそれぞれ場内 A 試験、場内 B 試験とした。現地圃場での作業速度は 0.18m/s 一定とした。調査項目

は圃場条件として畝形状，畝肩部土壌硬度（大起理化製：SR-2型，小コーン利用：畝肩部に支柱は打込まれる）で調査し，作業精度については畝に打込まれた支柱のトンネル高，幅，打込み深およびピッチをそれぞれ20箇所ずつ調査した．また，打込みミスとその状況を調査した．作業能率は作業速度，旋回時間，支柱補給時間および調整時間等を調査し，10aあたりに換算した．

5.2 結果および考察

5.2.1 作業精度

圃場試験の状況を図3-1-7，作業精度の調査結果を表3-1-4に示した．

場内試験，現地試験ともにトンネル高，幅，脚深，ピッチはむらの少ない均一な設置状況になった．脚深はいずれの場合も22～23cmで，ぐらつきはみられなかった．なお，同時に調査した畝肩部土壌硬度は場内試験，現地試験ともに深さ20cmで高くなり，その値はいずれもコーン指数で1.8MPaであった．また，深さ20cmより深い位置が未耕地であると推定されることから，試作機により設置した支柱の脚部は未耕地にまで達していたものと考えられた．

打込みピッチは場内A79cm，場内B89cmとなり，作業速度の大きい場内Bで長かった．現地試験の91cmは不織布利用を前提とする支柱設置で，農家の指示により打込みピッチの設定値を長くしたことによるものであった．打込みミスは場内A1.7%，場内B2.8%，現地0.6%で，現地試験でやや少なかった．現地圃場では小石が少なかったことや打込み幅1.14mが畝天幅1.30mに対して狭く，畝肩による支柱の保持力が高かったためと考えられた．なお，場内試験における作業速度の差は作業精度に影響しなかった．その他，レタスの草丈は10cm程度に生育していたが作業中に試作機の作用による損傷はみられなかった．

場内圃場と現地圃場では畝形状が異なったが，作業精度には大差はみられず，いずれも高い精度であった．



図3-1-7 支柱打ち込み作業状況
注) いずれも農試圃場内のもの．

表 3-1-4 支柱打込み作業精度

試験名 略称	畝の形状(m)			設置後支柱(cm)				打込みミス (%)
	畝幅	畝天幅	畝高さ	トンネル高	打込み幅	打込み深	ピッチ	
場内A	1.8	1.2	0.20	59±1	129±1	22±2	79±3	2.8
場内B	1.8	1.2	0.20	59±1	129±1	22±1	89±2	1.7
現地	1.6	1.3	0.18	55±1	114±1	23±1	91±1	0.6

- 注) 1) 「試験A」は作業速度0.14m/s, 「試験B」0.20m/s, 「現地」0.18m/sとした。
 2) 設置後支柱の値は「平均値±標準偏差」を示す。
 3) 支柱断面直径は全て8.5mm, 長さは農試場内2.3m, 現地2.25m。
 4) 支柱設置ピッチの設定値は一定。現地は不織布利用のためやや広く設定。
 5) 打込みミスは主に支柱が石にあたった場合に生じた。
 6) 畝肩部土壌コーン指数は深さ20cmの位置で1.8MPa。

5.2.3 作業能率

作業能率の調査結果を表 3-1-5 に示した。

場内試験において、作業速度 0.14m/s (場内 A) と 0.20m/s (場内 B) の設定で、支柱 1 本打込み時間は 5.2s/本, 4.0s/本となった。支柱設置数は 696 本/10a, 619 本/10a, 所要時間は 87.6 分/10a, 54.9 分/10a, 作業能率は 1.5h/10a, 1.0h/10a となった。一方、現地試験では作業速度 0.18m/s で 1 本打込み時間は 5.7s/本であった。支柱設置数は 604 本/10a, 所要時間は 76.0 分/10a で作業能率は 1.3h/10a となった。

10a 当たり所要時間のうち旋回時間は現地圃場で 15.6min と多くなったが、これはレタスを栽培しない枕地部分にも畝溝が通されており、試作機のクローラ式走行部では旋回がやや困難であったためであった。また、支柱補給は枕地で行ったが、一度の補給本数を多くすると機体重心が作業機側になり、旋回性能に悪影響がみられたため、250 本 (34.7kg) 程度の補給にとどめた。

この他、打込みミスが無かったとした場合の補正作業能率は場内 A1.3h/10a, 場内 B0.9h/10a, 現地 1.2h/10a であった。

表 3-1-5 支柱打込み作業能率

試験名 略称	作業速度 (m/s)	打込み時間 (s/本)	設置本数 (本/10a)	所要時間(min/10a)				作業能率(h/10a)		
				打込み	旋回	支柱補給	ミス調整	合計	換算値	補正值
場内A	0.14	5.2	696	66.4	8.2	3.3	9.7	87.6	1.5	1.3
場内B	0.20	4.0	619	45.6	5.7	3.3	0.3	54.9	1.0	0.9
現地	0.18	5.7	604	55.6	15.6	2.8	2.0	76.0	1.3	1.2

- 注) 1) 1本打込み時間には台車移動時間を含む。
 2) 旋回用の枕地幅は 2.5m で、枕地部分はレタスを栽培していない。
 3) 10a 当たり所要時間には枕地のない 20m*50m の圃場を想定して換算した。
 4) 作業能率の補正值はミス調整時間を除いたもの。

6. まとめ

著者らが調査した慣行のレタストーンネル被覆作業の労働時間⁽⁴⁾に今回の試験結果を反映すると図 3-1-8 のとおりとなった。

慣行の 10a 当たり延べ労働時間は 16.1 時間を要し、このうち、支柱打込み時間は 3.6 時間で試作機の利用によって最大 1.0 時間に短縮されたものの、全体では 13.4 時間（慣行対比 83.2%）になったにすぎず、時間短縮の効果は小さいと考えられた。しかし、支柱設置作業とフィルム掛け作業を分離すると 12 月以前での支柱設置が可能であり、12 月上旬の作業集中⁽³⁾を緩和する効果はあると考えられた。また、JA の農家支援組織等での利用とすれば作付け規模が 1ha 未満の農家にも適用でき、年間の作業量も確保し易くなることから、支柱の打込みだけを行う単機能作業機でも実用性があると判断された。

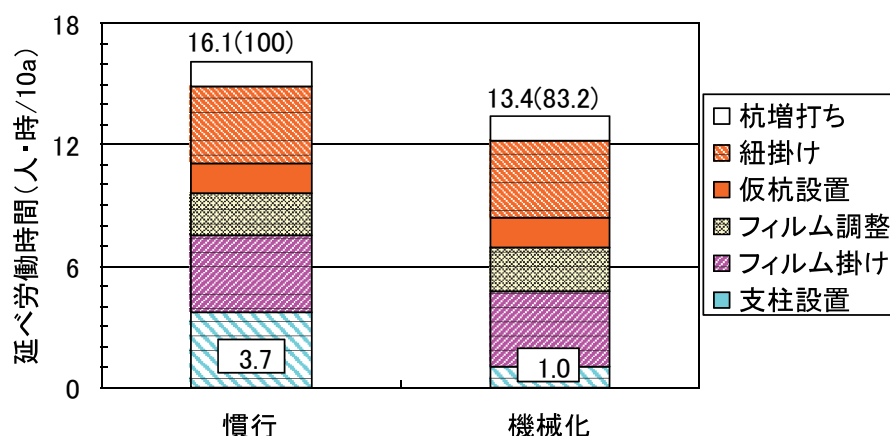


図3-1-8 レタストーンネル被覆作業の労働時間

第三章・第1節の参考文献

- (1)牛田 均, 2004, レタスにおけるトンネル被覆の方法と温湿度環境・生育, 農業技術大系野菜編・第6巻, 農文協, 258~261
- (2)香川県主要野菜栽培指針, 2002, レタスの栽培, 香川県, 275~302
- (3)香川県仲多度・三豊農業改良普及センター, 1995, レタス栽培農家の月別投下労働時間調査結果, (香川農試・農業機械に関する試験成績書) 29
- (4)山浦浩二・西村融典・岡田彰夫, 1999, ビニルトンネル設置作業の内容と作業時間, 香川農試・農業機械に関する試験成績書, p 61
- (5)香川県仲多度・三豊農業改良普及センター, 1995, レタス栽培農家意向調査結果について, (香川農試・農業機械に関する試験成績書) 33~39
- (6)藤井秀昭, 1993, トンネルマルチの利用, 機械化農業, 1993(9), 53~55

第2節 軽量型トンネル支柱打込み装置の開発

1. 研究目的

第1節で開発した全自動支柱打込み装置は、グラスファイバ製支柱を対象にして開発したが、香川県下ではレタス栽培農家の保有する支柱の多くが U 字型鋼管製のもので、単に支柱の自動設置を目的としてのみグラスファイバ製に変換して行く機運は生じなかった。また、試作機は機体質量が大きく、旋回用の枕地幅として 2.5m を要することから、狭小圃場が多い香川県下では利用できる圃場が限られた。

このため、U 字型鋼管製支柱に対応できる軽量で安価な半自動式の支柱打込み装置を新たに開発する。

2. 開発機の目標仕様

作付け規模が 1 ha 程度（うち、トンネル栽培 50a 程度）の生産者が導入利用することを想定して次を開発機の目標仕様とした。

- (i) 適用支柱は香川県内に普及の多い鋼管製 U 字型で、太さ 11mm の中空パイプ、長さ 2.1m～2.4m であること。
- (ii) 全質量は 100kg 以下で、輪距は 1.8m、打込み幅は最大 1.5m、打込み深は最大 0.25m、最大打込み力は最大 800N 程度とする。
- (iii) 走行部は手押し式畝間走行台車を利用し、任意のピッチで手動間欠走行する間の停止時に支柱を設置する方式とする。
- (iv) 作業能率は慣行手作業と同等かやや上回る程度で、軽作業化に重点をおく。
- (v) 支柱設置精度は高位に安定していること。

3. 軽量型トンネル支柱打込み装置の開発

3.1 試作機の概略

試作機の外観を図 3-2-1 および図 3-2-2 に、主要諸元を表 3-2-1 に示した。

試作機は、畝間走行台車に電動油圧ユニット・シリンダで作動する支柱打込み部を搭載したもので全質量 99.0kg、全長 1,240mm、全高 1,320～1,500mm、全幅 1,850mm で、畝幅 1.8m の高畝広幅のレタス畝に利用できる。適合する支柱は主に U 字型鋼管製で、直状グラスファイバ製にも適合する。U 字型鋼管製の場合、支柱形状は外径 11mm、長さ 2.1～2.4m、間口 1.4～1.6m である。ただし、支柱の長さが 2.1～2.2m の場合は、図

3-2-2 に示すように打込み部の支柱押さえアームに中子アダプタを装着する。支柱の積載数は、60本程度（総質量14.4kg、畝長50m相当）である。

支柱は台車前方に積載し、作業者が手動で打込み部に1本ずつ装填する。支柱の装填方法は支柱の脚部を左右の支柱ガイド・ステップに乗せ、支柱押さえアームに沿って挿入する方法である。支柱押さえアームは、支柱の湾曲に合わせた形状であり、支柱への損傷が少なく、“L字状”のガイドを備えているので、支柱押さえアームの降下中に生じやすい支柱の“飛び出し”を防止できる。支柱の打込み深さは、打込み深さセンサの高さ調整で行うが、その調整範囲を超える場合は台車高の調整でも可能である。支柱打込みアームの上下昇降長は500mmである。また、打込み幅は、左右支柱ガイド・ステップの水平位置調整で行い、1,150～1,300mmの範囲で50mm毎に可能である。電動油圧ユニット・シリンダによる打込み力は800Nである。

作業は1～2人で行う。作業者が支柱を装填スイッチを操作すると支柱押さえアームが降下し、図3-2-3に示すとおり支柱脚部の畝面感知板が畝に接して支柱ガイド・ステップが機械的に下方に解除され、支柱は垂直方向の姿勢が維持された状態で畝面に打込まれる。その後、支柱押さえアームは打込み深さセンサが畝面に接するまで降下し自動停止する。打込み後は、作業者がスイッチを操作すると打込み部が上昇する。打込み作業が終了すると試作機を人力で前進させて次行程に移る。

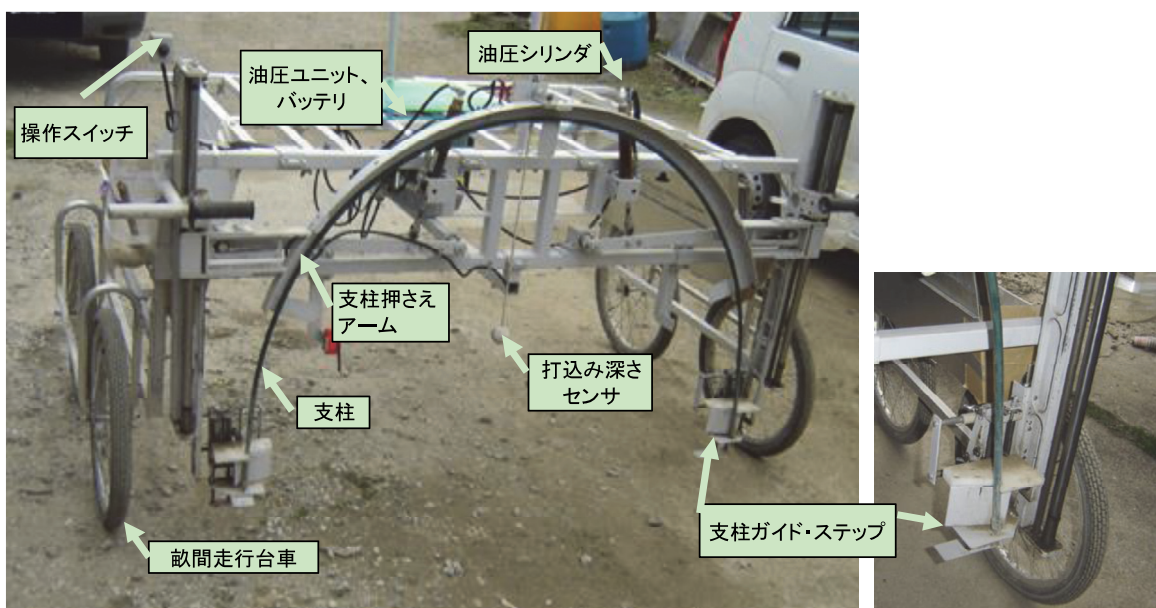


図3-2-1 軽量型トンネル支柱打込み装置の外観

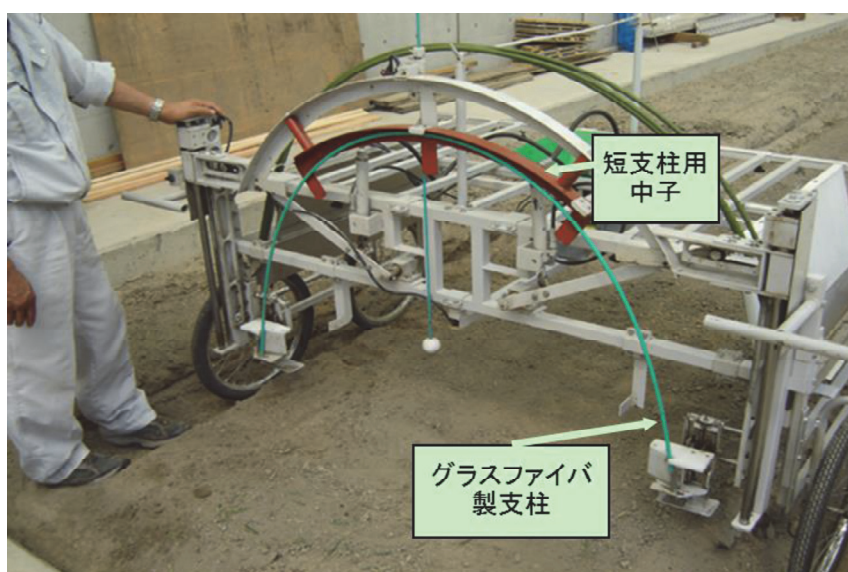


図 3-2-2 短支柱用中子を利用したグラスファイバ製支柱の装填状況
 注)装填しているグラスファイバ製支柱の長さは 2.2m.

表 3-2-1 試作機の主要諸元

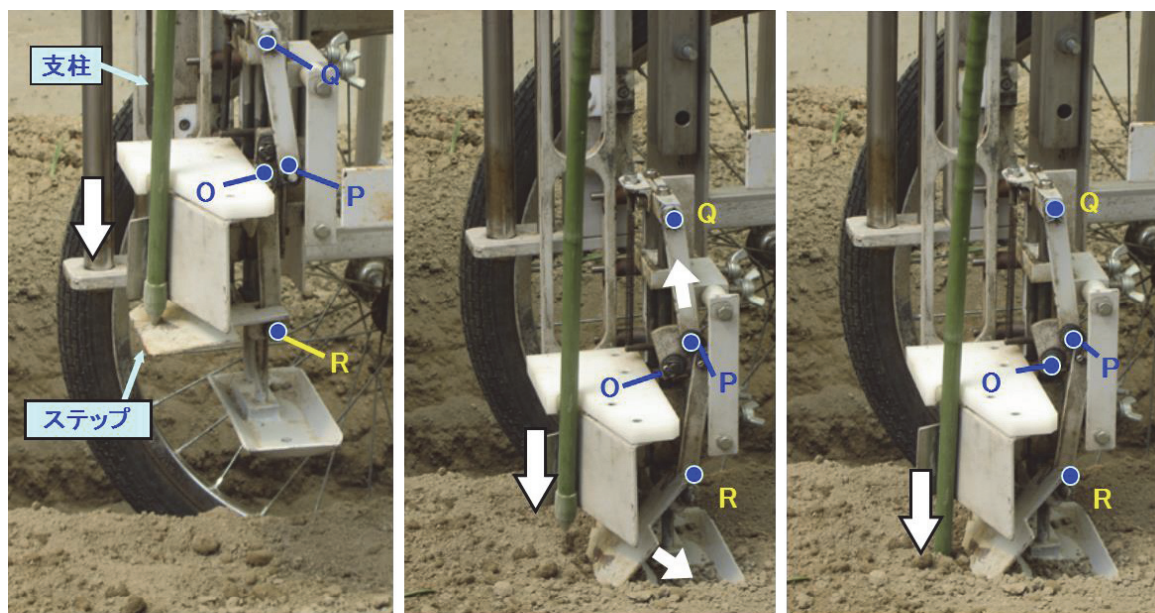
項目		摘要
主要寸法	全質量	99.0kg
	全長	1,240mm
	全高	1,320~1,500mm (50mmピッチ)
	全幅	1,850mm
走行部	方式	畝間走行台車 (人力走行)
	軸距	650mm
	輪距	1,780mm
	前・後輪径	510mm
打込み作業部	適用支柱	<ul style="list-style-type: none"> ・U字形鋼管製：外径11mm、全長2,100~2,400mm、間口1,400~1,600mm ・直材グラスファイバ製：全長2,100~2,400mm、外径7.5~8.5mm
	打込動力	<ul style="list-style-type: none"> ・電動パッケージポンプによる油圧式：シリンダ径20mm：ストローク100mm、左右各1本
	最大打込み力	800N
	昇降ストローク	500mm
	昇降時間	4s
	打込深調整 打込幅調整	畝面感知自動停止式 1,150~1,300mm：50mm毎
1充電打込み数	1,000本	
制御	電源方式	12Vバッテリー 簡易リレー
	作業人員	1~2人

- 注) 1) 畝溝の起伏が少なく台車が安定的に走行できる条件の場合は、1人作業が可能
 2) 長さ 2.1~2.2m の支柱には中子を装着する。
 3) 1充電打込み数はバッテリーの容量(28AH)と打込み時モータ最大電流による算出値。

支柱押さえアームの昇降時におけるスイッチ操作では、作業者がスイッチ位置を保持する必要がある。例えば支柱が石に当たった場合などでは支柱押さえアームの降下中でもスイッチ操作を中立にすれば停止し、上昇位置にすれば上昇させることができる。ただし、打込み深さセンサが畝面を感知するとそれ以下にはスイッチを降下位置としても降下しない。これらのスイッチ操作は機体の左に位置した作業員が行う。

支柱の打込みピッチは、原則は生育中のレタス 2.5 株ごととし、作業者の目視で決定する。県下のレタス栽培の株間は 0.35m であることから打込みピッチは 0.88m となり、実作業では 0.80~0.90m を見込んでいる。

1 回のフル充電で打ち込める支柱数は、作業中のパッケージポンプ稼働時における DC モータ電流の最大値と 28AH のバッテリー容量から算出して約 1,000 本と見積もっている。



a: 支柱を打込み部に手作業でセットする。打込み時は押し板の上昇で Q 点が上昇し、O 点を中心に P 点が回転し R 点が増加、ステップが解除される。

b: 降下スイッチにより打込み部が降下し、打込み部の押し板が畝面に接し、沈下するとステップが下方に解除される。

c: さらに打込み部が降下し、打込み深さセンサが畝面に接すると降下が停止し、打込みを終了する。

図 3-2-3 支柱打込み時におけるガイド・ステップの働き

3.2 性能試験の方法

水稻作後圃場において 1 畝 4 条栽培のレタスを想定し、畝幅 1.8m、畝長 50m を試験の 2 か月前に畝立てした。供試した支柱は外径 11mm、長さ 2.3m、間口 1.6m の U 字型の鋼管製で、試作機による支柱打込み幅は 1.25m、同じくピッチ 0.88m (レタス株間 2.5 株分)、打込み深さ 0.18m とした。試作機への積込み量は 1 畝当たり 30 本ずつ 2 束、

計 60 本とした。支柱を打込む畝肩部の貫入抵抗は深さ別に SR-2 型土壤抵抗測定器により調査した。

試験は 2 人作業と 1 人作業の場合で実施した。作業状況はビデオカメラに収録し、ビデオ画像を解析して作業内容ごとに区分して作業時間を求めるとともに、10a 当たりに換算して作業能率を求めた。作業精度は設置した支柱の打込み幅、打込み深さおよびピッチを 30 本調査した。対照の慣行手作業は軽量畝間走行台車を利用した場合としない場合の 2 つの方法とした。

上記の作業中に作業者の心拍を心拍計 (POLAR 社 : S610i) に収録し、安静時の心拍数に対する増加率を調査した。また、収録したビデオ画像により、5 分間 (支柱 20 本分の供給から打ち込み終了まで)、1.2 秒ごとに作業姿勢を OWAS 式作業姿勢分析システム⁽¹⁾により評価した。

3.3 結果および考察

3.3.1 作業状況

表 3-2-2 に供試したレタス畝の形状と畝肩部の貫入抵抗を示した。また、図 3-2-4 に試験状況を示した。

試作機の利用に当たって調整箇所は打込み深さと打込み幅および打込みピッチで、このうち、打込み幅とピッチはレタスの植付け株間からそれぞれ 1.25m と 0.88m としているが、打込み深さは畝肩部の深さと硬さで決定する。試験に供した畝の畝肩部の硬さを土壤抵抗測定器で調査したところ、深さ 0.20m で 0.78MPa となりこの深さより深くなると急に硬くなっていたことから、0.20m より深い部分は未耕耘であると考えられた。慣行作業ではこの未耕耘付近まで支柱を押し込むことから、この深さを支柱の打込み深さの目標とした。なお、直径 6 mm の触診棒で畝肩の未耕耘部分までの深さ (畝肩作土深) を調べたところ、平均値は 0.19m であった。

支柱は支柱押さえアームに 1 本ずつ手で装填するが、支柱押さえアームが図 3-2-4 に示すよう作業者の方向に向いているので支柱の脚部が支柱ガイド・ステップに確実に装填できていることを目視することができた。

支柱は数年間利用するので形状が変形していることが多い。極端な変形は事前に矯正しておく必要があるが、手動による強制的な装填であるので多少の変形には支障なく対応できた。

供試した畝の畝溝は起伏が少なく乾いていたので、安定的な台車走行ができ 1 人作業

が可能であった。ただし、1人作業の場合は機体を直進させるために機体の進行方向を修正する頻度が2人作業に比べて高かった。

2人作業の場合、支柱の装填とスイッチ操作は主に左側の作業者が担い、右側の作業員は支柱の装填状況の確認と機体の前進を分担した。また、枕地での旋回は作業員1名が機体の前方を手前に引き揚げながら前輪を浮かせ後輪だけで行う方法がスムーズであった。

表3-2-2 供試畝の形状

項目	畝幅 (m)	畝天幅 (m)	畝高 (m)	畝肩作土 深(m)
平均値	1.8	1.26	0.17	0.19
(標準偏差)	0.01	0.02	0.01	0.02
畝肩の貫入抵抗(MPa)				
深さ(cm)	0-5	-10	-15	-20
平均値	0.17	0.22	0.46	0.78

注) 作業幅1.8mの畝立てマルチ敷設機使用。畝立て後2か月を経て供試。畝肩作土深は直径6mmの触診棒による。貫入抵抗はSR-2型土壌抵抗測定器の小コーンによる。

a : 二人作業の場合



b : 一人作業の場合



図 3-2-4 試作機による支柱設置作業状況

注) 作業員 A: 男性 62 歳、B: 女性 65 歳。

3.3.2 作業能率

表 3-2-3 に試作機による 10a 当たり延べ労働時間と作業能率の調査結果を示した。

試作機を 2 人作業で使用した場合は、1 本当たり打込みの所要時間は 14.4 秒/本，作業能率は 3.0h/10a で、同じく 1 人作業では 16.5 秒/本，3.4h/10a であった。これに対して慣行手作業では台車利用のない場合（第 I 章の図 1-12 参照）12.0 秒/本，2.3h/10a，

台車利用がある場合 9.0 秒/本, 2.1h/10a で, 試作機利用の作業能率は慣行手作業より低かった。しかし, 10a 当たり延べ労働時間では, 試作機を 1 人で使用した場合は慣行手作業の 71.4 %, 台車利用の手作業の 83.3%に短縮した。試作機を使用した場合の作業内容別の所要時間は支柱の装填時間が 6.5~7.6 秒/本で, 打込み時間 4.5 秒/本, 台車移動時間 3.4~4.4 秒/本となり, 2 人作業の方が所要時間は短かった。

慣行手作業では台車利用の有無を問わず 2 人作業で行う場合が多い。この場合, 作業者は打込みの支柱を取り出すとそのまま一度も離すことなく畝への打込みを終えるが, 試作機使用では支柱を狭いガイド・ステップに装填する必要があり, これに手間取って慣行手作業より所要時間が長くなるものと考えられた。

表 3-2-3 試作機による支柱設置の 10a 当たり延べ労働時間と作業能率

項目	試作機		手作業	台車+手	備考
	2人作業	1人作業	2人作業	2人作業	
作業員	A+B	A	C+D	A+B	
初期調整 (秒)	300	300	0	0	
支柱束の積載 (秒)	275	558	0	275	11回/10a
打込み (秒)	9,517	10,874	8,184	6,600	660本/10a
旋回 (秒)	530	530	0	530	10回/10a
合計 (秒)	10,622	12,262	8,184	7,405	
作業能率 (h/10a)	3.0	3.4	2.3	2.1	
延べ労働時間 (人・時/10a)	6.0	3.4	4.6	4.2	
1本打込み平均所要時間 (秒/本)	14.4	16.5	12.0	9.0	
うち, 支柱の装填 (秒/本)	6.5	7.6			
打込み (秒/本)	4.5	4.5	—	—	
移動 (秒/本)	3.4	4.4			

注)1)作業員 A:男性 62 歳, B:女性 65 歳, C:男性 52 歳, D 男性 32 歳.

2)台車を使わない手作業では, 支柱の運搬は人力によった.

3.3.3 作業精度

表 3-2-4 に支柱設置精度の調査結果を示した。試作機による支柱の打込み幅, 打込み深さ, トンネル高はいずれも慣行手作業の場合より標準偏差が小さく, 設置精度は高かった。また, 試作機を使用した場合では畝肩部へ打込んだ支柱脚部の設置位置が畝方向に一直線となり, 被覆資材を展帳すると高さと同口の揃った均一な形状のトンネルになった。なお, 支柱の打込み深は左右でほぼ同じとなり, どちらかが深くなることは無かった。

表 3-2-4 支柱設置精度 (c m)

区分	打込み幅	打込み深	トンネル高	ピッチ
試作機	125	20	63	79
(標準偏差)	1.3	1.2	1.2	7.9
慣行手作業	130	21	62	87
(標準偏差)	3.9	1.4	1.7	5.3

注)設置支柱 30 本の平均値.

3.3.4 労働強度

表 3-2-5 に作業姿勢の評価結果を示した.

試作機利用では機体の左に位置した作業員は支柱を供給する関係から手が肩よりも上がることや支柱を試作機に装填する際に少し前傾姿勢となることから作業姿勢の改善が必要な AC3, 4 の区分の合計値で示す姿勢負担度は 3.6%であったものの, 右側に位置した作業員は左側作業員が行う支柱の装填作業の補助および機体の前進操作が主で AC2 が 100%となり, 姿勢負担度は 0%であった. これに対して畝間走行台車利用の慣行手作業では機体の左側に位置した作業員の姿勢負担度は 34.0%, 右側に位置した作業員では 48.9%となり, 試作機の場合より高かった. 慣行手作業の場合は 2 人の作業内容がほぼ同等で, 特に支柱を打込む瞬間は膝を折り, 腰をかがめて支柱に体重をかける必要があり, 労働負荷も大きいと考えられた. なお, 本試験における慣行手作業での右側の作業員は女性で身長が低く, 支柱の扱いが利き腕方向とは異なったので左側の作業員より姿勢負担度は大きくなった.

表 3-2-5 OWAS 分析による作業姿勢評価

区分	作業員	AC1	AC2	AC3	AC4	負担度
試作機	男性A	28.6	67.9	3.6	0	3.6
	男性B	0	100	0	0	0.0
慣行手作業	男性A	8.5	57.4	12.8	21.3	34.1
	女性C	29.8	21.3	2.1	46.8	48.9

注)1)2 人作業の場合.サンプリングピッチ 1.2sec, 時間 5 分間の平均値. 作業員 A:男性 62 歳, B:男性 53 歳, C:女性 65 歳, 慣行手作業は畝間走行台車利用. 試作機利用では, 主に A 男性作業員が支柱を供給した.

2)AC3, AC4 区分の合計を負担度として示す. AC3, AC4 区分の姿勢は軽減することが重要とされている.

表 3-2-6 に作業中の心拍数増加率を示した. 慣行手作業では 31.8~38.5%となり労働強度の区分は中作業であったが, 試作機の場合では 19.5~21.3%で, 軽作業となった.

表 3-2-6 心拍数増加率 (%)

作業者	試作機	慣行
A	19.5	31.8
B	20.3	34.3
C	21.3	38.5
労働強度	軽	中

注)A:男性 61 歳、B:女性 65 歳、
C:男性 34 歳. 労働強度の区分は
鶴崎(1983)による.

4. まとめ

以上の結果，開発機は作業姿勢の改善を主として，軽作業化に有効な技術であると判断された。また，開発機は畝溝の起伏が少なく台車が安定的に走行できる条件下であれば 1 人作業が可能になり，延べ労働時間の短縮も可能である。香川県内のレタス栽培農家圃場で開発機のモニター調査を実施したところ，2 人作業での能率が低いことを指摘する意見が多かった。この対策として支柱の装填を自動化する提案があったので支柱を事前に整列させて搭載し，支柱を 1 本ずつ挟持・搬送してガイド・ステップ部に自動装填する機構を新たに装備したところ，1 本打込み所要時間は 8.9 秒に短縮し台車使用の手作業と同等になったが，支柱の事前整列装填に多くの時間を要し，作業能率は 2.7h/10a に留まった⁽²⁾。U 字型鋼管製支柱では事前整列を自動化することが困難であることから，ガイド・ステップ部への装填を自動化するメリットは少ないと考えられた。

一方，香川県内の冬どりレタス栽培におけるトンネル設置作業は支柱打込み，紐止めペグ打込み，被覆フィルムの展帳，被覆フィルムの紐止めの各作業で構成されており⁽³⁾，これらの作業を同時化することは技術的に容易ではない。しかも慣行の手作業によるこれらの合計延べ労働時間は 10a 当たり 16.1 時間で，このうち支柱の打込み作業だけを省力化しても大幅な能率向上が見込めないと考えられるため，まずは軽作業化を主目標とすることが重要であり，その点において開発機は有効であると考えられた。開発機はその後，商品化されて手作業では作業者の負担が大きい粘質土壌地区に導入されたが，より広範な普及には一層の簡素化と低価格化が必要であると思われた。

第Ⅲ章・第2節の参考文献

- (1) 瀬尾昭彦, 2000, OvakO 式作業姿勢分析システム, <http://homepage2.nifty.com/aseo/owas.html>.22
- (2) 山浦浩二・白井英治・西村融典, 2009, 軽量型電動トンネル支柱打込み装置の開発, 香農試・農業機械に関する試験成績書, 13~14
- (3) 山浦浩二・西村融典・十川和士, 1998, レタストーンネル設置作業の内容と作業時間, 香農試・業機械に関する試験成績書, 61

第IV章 アップカットロータリを用いた耕うん同時畝立て施肥マルチ敷設機の開発

第1節 アップカット耕うん畝立て施肥マルチ敷設機による畝立てとレタス栽培

1. レタス用畝立て機に関するこれまでの取り組み

十川ら⁽¹⁾は、香川県内で慣行的に行われていた一輪管理機を利用した畝立て法に替わる畝立て法として、既存の畝立てマルチ敷設機を乗用耕うん機に搭載し、畝立てと同時に畝中と畝表面に施肥して同時にマルチ敷設を行う施肥畝立てマルチ敷設機を既存機の組み合わせにより試作した。性能試験の結果、肥料タンクの容量が小さいため肥料の補給回数が多くなったものの、堆肥と土壌改良材の散布から事前の平面耕うんと畝立て、畝表面施肥、マルチ敷設までの合計の作業能率は 4.8h/10a となり、慣行の一輪管理機を使う場合の3倍の能率となることが確認できた。しかし、十川らによる試作機利用でも一輪管理機を利用した慣行畝立て法と同様に事前の平面耕うんを2~3回行う必要があり、平面耕うん後に降雨があれば、圃場が乾く時間が必要であるため、畝立て作業が遅延することになった。また、作業が遅延しない場合でも天候の都合で平面耕うんの回数が少なくて碎土が不十分となる場合や土壌水分がやや高い条件での畝立てとなり易く、そのため、畝立て精度が低下し、結果として移植精度が低下するという問題は解決できていなかった。

一方、本研究の実施期間中に新しく開発した第II章の半自動多条移植機における移植精度の向上に関する試験研究のなかで、移植精度の向上には半自動多条移植機自体の改良とは別に、畝立て精度を高位に安定させることが重要であるとの知見を得た。

このため、晴天時に大面積を一挙に畝立てする技術が必要と考え、耕うん碎土性と稲わら等夾雑物の鋤込み性能に優れるアップカットロータリ⁽²⁾に着目し、畝立て精度の向上とともに、畝立て前耕耘回数の削減を目的に耕耘と同時に畝立て、施肥、マルチ敷設を行う作業機を開発することとした。

2. 開発機の目標仕様

JAによる農家支援やレタス栽培を雇用により2~3ha以上栽培する経営等での導入利用を想定し、次を開発機の目標仕様とした。

(i)畝幅 1.8m, 畝天場幅 1.4m, 畝高 0.10~0.25m で畝中央部が端部より 5cm 高い屋根形の畝が成形されること。

(ii)アップカットロータリの作業幅は 1.8m とし、耕うんと同時に畝立て施肥、マルチが

できること。さらに施肥部は主肥料を畝内、副肥料を畝表面に施用できること。

(iii) マルチは畝の天場だけを覆うトップマルチ（天場マルチとも称する）とすること。

(iv) 畝立ての精度向上のため、前作残渣の鋤込み性と畝表層の碎土性が高位に安定化していて、畝表面は凹凸のない平面に仕上げられること。

(v) 試作機利用畝によるレタスの生育収量は慣行のダウンカット式の畝立てと同等以上であること。

3. アップカット耕うん畝立て施肥マルチ敷設機の開発

3.1 試作機の概要

表 4-1-1 にアップカット耕うん畝立て施肥マルチ敷設機（以下、試作機）の主要諸元を示し、図 4-1-1 にそれをトラクタへ直装した外観を示した。

本機は、既存のダウンカットロータリ（I 社 WAY183-02）をベースにアップカット化したもので、ロータリカバー前部にゴムダレ、後部にレーキを装着し、併せて畝成形板と前尾輪、施肥機、マルチ敷設機を組み合わせたものである。特徴としては、ロータリ

表4-1-1 試作機の主要諸元

項目	摘要
耕うん方式	アップカット
機体寸法	全高 950
(mm)	全幅 1,950
	全長 1,300
	耕幅 1,800
全質量(kg)	260
ロータリ回転数 (rpm)	入力/出力：3/1
ロータリ径 (mm)	490
爪取り付け方式	ホルダ式
耕うん爪本数(本)	42
耕うん爪後部	レーキ付き
爪配列	平面耕
駆動方式	サイドドライブ
尾輪位置	ロータリ前方
取付け方法	日農工標準3P直装
畝立て方式	ロータリサイドカバー 内側に成形板を固定
成形畝寸法	畝天幅 1,480
(mm)	畝裾幅 1,540
	畝高 150~220
施肥方法	電動施肥機：ロール式；容量501×2基
マルチ敷設方法	天場マルチ（トップマルチ）

注) 1) 畝高さはロータリリヤーカー角度で調整できる。

2) 天場マルチは天場のみにマルチ敷設する方法で、畝立て後にはマルチ上に畝溝の土を管理機等で培土する。

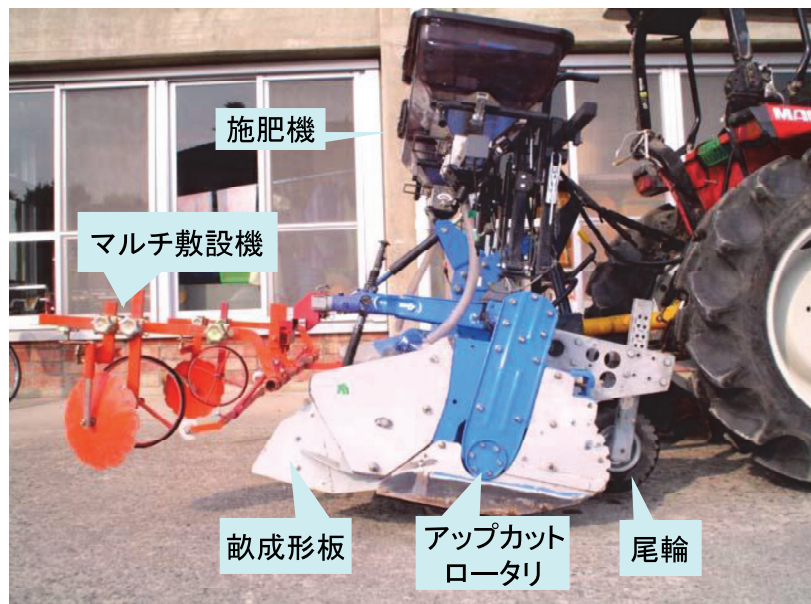


図1-1-1 試作機の外観

注) 21kWトラクタに直装した場合.

本体の全質量が 260kg で、同じ耕幅の既存アップカットロータリ（例えば Ma 社：APU1810H の事例では 405kg）に比べて軽量であること、県内の狭小圃場でも利用しやすいよう前尾輪とし前後長を短くしていること、さらに県内に普及率の高い 22kW 程度のトラクタでも利用できることを目標としている。

3.2 試作機の性能試験における試験項目と方法

3.2.1 前作稲わらおよび稲株の鋤込み精度に及ぼす影響（試験 1）

試作機による畝立て時の稲わらおよび稲株の鋤込み精度への影響を明らかにするため、水稲作後稲わら散布圃場において調査した。表 4-1-2 にその試験区分を示した。

試験は、試作機を M 社 21kW トラクタに直装して供試し、慣行の一輪管理機や既存畝立て機による方法と稲わらおよび稲株の鋤込み精度を比較した。このうち、一輪管理機（I 社 3.7kW）による方法は通常のダウンカット耕の後、畝溝の土を左右に揚土して畝天場に培土しつつ畝成型する方法で、所定の畝幅（1.8m）と畝高さ（18～20cm）にするため、一度の培土の土量を少なくして 2 回で仕上げる方法とした。また、既存畝立て機による方法は、通常のダウンカット耕による平面耕の後、Y 社 7.4kW 乗用管理機に

直装した F 社トップマルチ（天場マルチ）仕様の畝立てマルチ敷設機によって畝立てする方法とした。

いずれの試験区も畝立て前に通常のダウンカット耕（I 社 18kW トラクタ直装の耕幅 1.5m のダウンカットロータリ（I 社 ARG15）、以下、事前耕うん）を実施した。また、事前耕うんの碎土状況が畝立てに及ぼす影響を検討するため、耕うん回数を変えて（1 回または 2 回）実施した。

表 4-1-2 稲わらおよび稲株の鋤込み精度に及ぼす影響調査の試験区分（試験 1）

試験区分	型式等	作業速度 (m/s)	畝立て前の 事前耕うんの方法
一輪管理機	I社SK60:3.7kWと 逆転揚土ロータリ	0.23	
既存 畝立て機	F社畝立て機75Bと Y社7.4kW乗用耕うん機	0.11	・I社ダウンカットロータリ ARG15と18kWトラクタによる。 ・作業速度0.24m/s, PTO設定3で 耕うん回数は1回または2回。
試作機	表4-1-1の試作機と I社22.1kWトラクタ	0.14	

注) 畝立て後に稲わらと稲株の露出状況を調査するため、畝立て後の畝面へのマルチは敷設しなかった。

調査項目のうち、稲わら露出量は、試験区の平均的な箇所において畝と直交方向の 4 箇所 30cm×30cm 枠を用い、露出している稲わらを採取し、洗浄の後、風乾して重量を測定した。また、稲株露出数は畝長 20m 間において露出する稲株数を調査したもので、対象とする稲株の大きさは移植機移植カップの畝内進入に支障となりそうな直径が約 3cm 以上のものとした。他に、畝立て直前の土壌水分、畝中央部の表層 0～5cm における碎土率（土塊径 1 cm 以下の質量割合）を調査した。

3.2.2 畝表層碎土率分布に及ぼす影響（試験 2）

試作機利用が畝表層碎土率分布に及ぼす影響を明らかにするため、前項の試験 1 と同様に一輪管理機、既存畝立て機と比較した。表 4-1-3 に碎土率分布に関する試験区分を示した。

碎土率は、縦 25cm、横 72cm で横方向が 4 つに区分できる採土器を使って深さ 0～5 cm、5～10cm、10～15cm の土を畝横断方向に畝中央部から畝側部にかけて採取し、目合い 1cm の篩でふるって漏下する土塊の質量割合で示した。

表4-1-3 畝表層碎土率分布に及ぼす影響調査の試験区分(試験2)

試験区分	型式等	作業速度 (m/s)	畝立て前の 事前耕うんの方法
一輪管理機	I社SK60:3.7kWと 逆転揚土ロータリ	0.23	・I社ダウンカットロータリ ARG15と18kWトラクタによ る．作業速度0.24m/s, PTO 設定3. ・事前耕うん回数は試作機 のみ1回と2回，他区は1回.
既存 畝立て機	F社畝立て機75Bと Y社7.4kW乗用耕うん機	0.11	
試作機	表4-1-1の試作機と I社22.1kWトラクタ	0.16	

注) 畝立て後に碎土率を調査するため，畝立て後の畝面へのマルチは敷設しな
かった。

3.2.3 機械化移植精度に及ぼす影響（試験3）

試作機利用が機械化移植精度に及ぼす影響を明らかにするため，水稻後稲わら散布圃場において試験2と同じ供試機により事前耕うん後に一輪管理機，既存畝立て機，試作機より畝立てし，それぞれ手作業でマルチ敷設した後，第II章で開発・市販化された半自動多条移植機（S社，HSW-4）を供試してレタスの移植作業を行い，畝立て方法が移植精度に及ぼす影響を調査した．事前耕耘の回数は1回の場合と2回の場合とし，試作機利用においては耕うんピッチが1.3cm，2.2cm，3.5cmの3水準で実施した．また，使用したマルチフィルムは植え穴無しの無孔でマルチ法はトップマルチ（天場マルチ）とした．ただし，培土が移植精度に影響しないようマルチの固定はマルチの両端のみとし，慣行的に行っている全面培土はしなかった．移植精度は供試した移植機によりレタス苗を移植した際の転び苗の発生状況で評価した．供試した苗は200穴標準トレイで育苗期間25日，培養土は与作N-150，品種はシスコとした．転び苗は倒伏角30度以上と定義し，1畝4条移植における内条，外条の40株について調査した．

3.2.4 畝内肥料分布に及ぼす影響（試験4）

試作機利用が畝内肥料分布に及ぼす影響を明らかにするため，試作機と通常のダウンカットロータリによる畝立てを比較検討した．

試験に用いた肥料は，塗料で赤く着色した小麦粒による模擬肥料で，畝立て前の調査対象部分に500g/m²を手で均一に散布した．また，事前耕うんについては実施する場合としない場合とし，施肥は事前耕うん後とした．畝内肥料分布の調査は，試験2で用いた採土器を使って畝の横断方向中央部で深さ0～10cm，10～20cmの区分で採土し，そ

の中から麦粒を手選別で取り出してその部位別粒数を割合で示した。他に土壤水分、事前耕うん時の耕深を調査した。表 4-1-4 に畝内肥料分布に関する試験区分を示した。

表4-1-4 畝内肥料分布に及ぼす影響調査の試験区分(試験4)

試験区分	型式等	作業速度 (m/s)	畝立て前の 事前耕うんの方法
ダウン カット ロータリ	I社ARG-15と I社18kWトラクタ	0.19	・I社ダウンカットロータリARG15と18kWトラクタによる。作業速度0.19m/s, PT01.
試作機	表4-1-1の試作機と M社27kWトラクタ	0.25	・耕うん回数は試作機のみ0回と1回。他区は1回。

注) 畝立て後に模擬肥料の分布を調査するため、畝立て後の畝面へのマルチは敷設しなかった。

3.2.5 レタスの生育収量に及ぼす影響 (試験5)

試作機利用がレタスの生育収量に及ぼす影響を明らかにするため、2005年と2008年に栽培試験を実施した。いずれの年も試験4と同じ供試機により、試作機による場合を一輪管理機や既存畝立て機よる場合と比較した。移植作業は全ての試験区で手作業とし、移植方法がレタスの生育・収量に影響しないようにした。表 4-1-5 に耕種概要を示した。

2005年栽培では、事前耕うん回数は試作機のみ2水準(0回, 1回)で一輪管理機と既存畝立て機は1回とした。また、10月26日移植で11月28日(移植33日後)から1月5日(移植66日後)までの間に1週間ごと計7回(降雨による場合の3回を含む)にわたり、畝間湛水を行う区を設け、レタス収量への影響を調査した。この場合の一度の湛水時間は24~36時間で畝溝への初期湛水深は10cm程度とした。

2008年栽培では事前耕うんの回数を2水準(1回, 2回)とし、試作機による畝立て時の耕うんピッチを3水準(1.3cm, 2.2cm, 3.5cm)とし収量調査の他に土壤水分の推移をテンシオメータ(大起理化製: DIK-3150-02A)により畝中央部の深さ10cmの箇所を2箇所測定した。試作機による畝の土壤水分の推移調査では耕うんピッチ3水準のうち、2.2cm区を調査対象とした。畝の地温の推移については土壤水分と同じ2箇所をデータロガー(T&D製: TR-71U)により測定した。なお、地温測定はトンネル被覆の影響を避けるため、レタス移植からトンネル設置前までを調査期間とした。

レタスの収量は、2005年、2008年栽培とも4条栽培の内条と外条を同個数収穫して調査した。その場合、病害球や変形球、極度な生育不良球は除外し、レタス全重と球重を調査した。

表4-1-5 レタス栽培試験の耕種概要

年区分	品種	播種	畝立て	移植	トンネル被覆	収穫
2005	シスコ	10/3	10/21	10/26	12/6	2/23
2008	シスコ	10/6	10/28	10/29	12/7	2/6

- 注) 1) 土改材は粒状石灰を全層に、肥量は有機入り肥料Aを全層に、有機質入り肥料Bを畝天場に施用した。施肥量は香川県主要野菜栽培指針による。
 2) 年区分は移植年次を示す。いずれの年も水稻後圃場で実施。
 3) 畝形状は畝幅1.8m。栽植様式は1畝4条、条間30cm、株間35cm。

3.2.6 異なる土塊径土層がレタスの生育に及ぼす影響（試験6）

前項試験5のレタス栽培試験の結果を検証するため、異なる土塊径による土層がレタス生育に及ぼす影響について木箱を用いて調査した（以下、木箱試験）。表4-1-6に試験区の概要を示し、図4-1-2に試験状況を示した。

試験場所は、ビニルハウス内とした。使用した木箱の大きさは、高さ30cm、長さ70cm、幅32cmで、予め風乾した田土を土塊径別に4区分（2～3、3～10、10～20、20～30mm）にふるい分けて、それぞれ木箱に厚さ15cmに振動などは加えず充填し、その上に土塊径2～3mmの土で厚さ5cmに覆い、これを平桶に入れて水深約5cmとしてレタスを栽培した。また、これとは別に土塊径10～20mm区と20～30mm区では、レタスの生育初期の降雨を想定して7日間（移植20～26日後）、平桶の水深を約15cmの深水とする区を設けた。栽培期間中の水深の管理は試験期間を通じて目視によった。また、木箱への土の充填と平桶への設置およびレタス移植は同日（11月17日）に行った。

表4-1-6 異なる土塊径土層とレタスの生育調査に関する木箱試験の試験区（試験6）

区分	土塊径(mm)		湛水深(cm)				
	土層厚0-15	15-20	移植後 0～19日	20～ 26日	27～ 46日	47～ 91日	92～ 110日
細	2～3	2～3	5	5	5	0	5
小	3～10	2～3	5	5	5	0	5
中	10～20	2～3	5	5	5	0	5
大	20～30	2～3	5	5	5	0	5
中(深)	10～20	2～3	5	15	5	0	5
大(深)	20～30	2～3	5	15	5	0	5

- 注) 1) 供試した土は田土で篩により区分したもの。高さ30cm、長さ70cm、幅32cmの木箱への土の充填は振動を与えずに静かに投入した。
 2) 栽培場所はビニルハウス内で、マルチ敷設あり。1試験区当たりレタス栽培株数は3株とし、施肥は穴肥式とした。
 3) レタス品種は「シスコ」で、播種10月21日、移植11月17日、収穫2月8日とした。
 4) 土層厚は木箱下層からの距離（cm）で、合計の厚さは20cmとした。

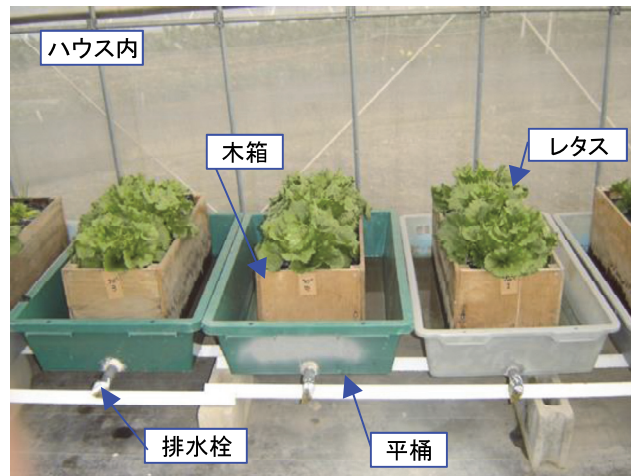


図 4-1-2 木箱試験の状況

施肥は、レタス苗株横 5cm、深さ 5cm に直径 2cm の穴 3 個を作り、有機入り肥料 A (NPK : 9-5-6) を 27g/株を施肥するとともに有機入り肥料 B (NPK : 10-6-7) 10g/株を表面に施肥した。土表面にはマルチフィルム (無効、光分解性、黒色、厚さ 0.01mm) を敷設し、レタス苗 (品種シスコ、220 穴セルトレイ、10 月 21 日播種の 27 日苗) 3 株を 1 条に等間隔で移植した。土層沈下量は、土層充填日を 0 日として 23 日後と 77 日後に測定した。土壌水分は移植直後にテンシオメータ (大起理化製 : DIK-3150-02A) を深さ 10cm に設置して測定した。1 月 4 日～2 月 17 日 (移植 47～91 日後) は平桶の水位を 0cm とし、2 月 17 日～3 月 7 日 (移植 92～110 日後) は再び全ての試験区で水位を 5cm に戻した。レタス地上部重は 3 月 7 日 (移植後 110 日目) に調査した。

3.3 試作機の性能試験における結果および考察

3.3.1 試作機による畝立て作業状況 (観察結果)

試験 1～5 において、試作機利用によって屋根型の畝が成形され、その寸法は畝幅 1.8m、畝天場幅 1.4m、畝高 0.10～0.25m で畝中央部が端部より 5cm 高くなり、試作機の開発目標仕様どおりの畝が実現できることを確認した。また、試作機利用により畝幅 1.8m で畝天場を平面に仕上げるためには、耕深 13cm 以上が必要であり、試作機を 21kW トラクタに直装した試験 1～3 ではトラクタ PTO 軸回転数設定” 1 ” (PTO 軸回転数 540rpm、この時ロータリ軸回転数は 160rpm) で、作業速度を 0.16m/s 程度の低速にする必要があった。この耕うん条件は土壌が砂壤土で比較的乾いた条件のものであって、粘質な条件や湿った条件では 21 kW のトラクタでは出力が不足すると考えられた。試験 4、5 で

は 27 kW のトラクタを供試したが、それでも事前耕うんがない場合の作業速度は、砂壤土で比較的乾いた条件で 0.3m/s 程度を越えるとエンジンへの過負荷がみられた。

なお、試作機はロータリの回転方向が作業方向に対して逆転しているため、耕うんした土がロータリ前方に押し出される傾向がみられた。この傾向は、畝立ての始点では畝高さが不足し、終点では高く盛り上がる原因となった。試作機のトラクタに対する装着はコンクリート面に設置させた条件でロータリのチェーンケースがやや前傾する程度を標準としたが、さらに前のめりになるようトップリンク長を短くし、後傾状態とする調整を行ったところ、土がロータリ後方へ流れ易くなり、畝立てに支障とならない程度に畝終点での土の盛り上がりを軽減することができた。

また、試作機では畝立て後の畝溝に土が残り、そのままではレタス栽培期間中の降雨によって畝溝がぬかるみ以降の管理作業において支障になるが、香川県内のレタス栽培ではマルチ敷設後に一輪管理機で畝溝の土をマルチ上に培土するため、培土後は畝溝に土が残らず管理作業の支障にならない程度となった。

3.3.2 稲わらおよび稲株鋤込み精度に及ぼす影響（試験 1）

表 4-1-7 に稲わらおよび稲株露出量の調査結果を示した。

畝表面の稲わらや稲株の露出量は、事前耕うん 1 回の場合、一輪管理機の場合 5.2g/m²であったのに対し、試作機による場合が 2.8g/m²（一輪管理機による場合を 100%とする指数では 54%）、既存畝立て機で 13.8 g/m²（同 265%）となり、試作機で少なかった。稲株露出量も一輪管理機の場合 26 個/m²であったのに対して、試作機 4 個/m²（同 15%）、既存畝立て機 34 個/m²（同 131%）となり、試作機で低かった。事前耕うん回数を 2 回とすると畝表層の碎土率は向上したが、稲わらや稲株露出量は既存畝立て機を除いてやや増加の傾向となった。しかし、試作機利用の場合で稲わらや稲株露出量が他の畝立て法より低い傾向は変わらなかった。

以上の結果、試作機利用では畝表層の碎土率が高く、夾雑物の鋤込み性に優れると考えられた。

3.3.3 畝表層碎土率分布に及ぼす影響（試験 2）

表 4-1-8 に畝表層碎土率分布の調査結果を示した。供試した水稻後圃場は、土壤水分が 33.5%（d.b.）で、やや高い条件であった。

事前耕うんがある場合の表層 0～5cm の碎土率は、一輪管理機利用の畝が高く、次いで試作機、既存畝立て機の順であった。一輪管理機利用の畝で畝表層碎土率が高かった

表 4-1-7 稲わら露出量および稲株露出量の調査結果(試験 1)

試験区分	事前 耕うん 回数	表層0~5cm 砕土率 (%)	稲わら露出量		稲株露出量	
			(g/m ²)	(指数)	(個/m ²)	(指数)
一輪管理機	1	64	5.2	100	26	100
	2	76	6.6	127	44	169
既存 畝立て機	1	56	13.8	265	34	131
	2	72	5.8	112	18	69
試作機	1	75	2.8	54	4	15
	2	85	4.6	88	8	31

- 注) 1) 砕土率は土塊径 1cm 未満質量割合。
 2) 畝立て直前の土壤含水比 32.5%, 事前耕うん後砕土率: 1 回耕後 50%, 2 回耕後 63%。
 3) 稲わらの露出量は風乾後重を示す。指数は一輪管理機区の事前 1 回耕うん後を 100 とした。

表 4-1-8 畝表層砕土率分布の調査結果(試験 2)

区分	事前耕うん の有無	採取深 cm	畝溝側を起点とする採取位置(cm)				平均
			0~18	18~36	36~54	54~72	
一輪管理機	有	0~5	60	57	60	63	60
		5~10	29	30	34	55	37
		10~15	13	16	19	21	17
既存 畝立て機	有	0~5	57	45	47	36	46
		5~10	54	57	43	39	48
		10~15	37	26	25	16	26
試作機	有	0~5	51	52	51	56	53
		5~10	37	44	37	43	40
		10~15	35	35	38	56	41
	無	0~5	75	73	77	79	76
		5~10	51	59	63	65	60
		10~15	51	57	53	52	53

- 注) 1) 砕土率は土塊径 1cm 未満質量割合。事前耕うん前後の土壤含水比 33.5%
 2) 前作は水稻で事前耕うんはダウンカット, 耕深は約 13cm, 耕うんピッチ 3.1cm。
 3) 試作機は I 社 22.1kW トラクタに直装して供試した。

理由として、一輪管理機による畝立てでは事前耕うん土の上に畝溝土を揚土飛散させ培土するためと考えられた。ちなみに、一輪管理機利用畝の表層 5~10cm と 10~15cm の砕土率はそれぞれ 37% と 17% で、0~5cm の 60% に比べて低かった。なお、一輪管理機利用畝の 0~5cm における横断方向の砕土率は 57~63% でほぼ均一であった。

既存畝立て機利用畝の表層 0~5cm と 5~10cm の砕土率はそれぞれ 46% と 48% で、

10～15cm では 26%と低かった。また、横断方向の碎土率は畝端部に比べて畝中央部が低い傾向であった。これは、既存畝立て機の耕うん爪が作業幅 1.8m 当たり 16 本と少なく、しかも両端部の爪 4 本は畝盛り爪となっており、碎土よりも土を畝中央部へ移動させる作用が強いためと考えられた。

一方、試作機利用畝では畝横断方向の碎土率はほぼ均一となり、畝縦方向では 0～5cm の碎土率が 5～10cm や 10～15cm より高い傾向であった。また、事前耕うんがない場合は事前耕うんがある場合より碎土率は高い傾向となり、0～5cm の碎土率は 76%で一輪管理機や既存畝立て機利用の場合より高くなった。試作機利用畝で畝横断方向の碎土率が均一になったのは耕うん爪の配列を平面耕としていたためと考えられた。なお、試作機利用畝における深さ 10～15cm の碎土率は他の畝立て方法よりも高かった。

3.3.4 機械化移植精度に及ぼす影響（試験 3）

表 4-1-9 に半自動多条移植機による移植精度の調査結果を示した。

レタス苗移植時の転び苗率は、試作機利用畝において耕うんピッチ 3.5cm の場合を除き、1.3cm、2.2cm の場合では事前耕うん回数に関係なく転び苗率 0%で、植付けの苗深さも安定していた。一輪管理機利用畝の転び苗率は、事前耕うん 1 回で 35%、2 回で 15%となり試作機利用畝より高く、既存畝立て機利用畝では 1 回 0%、2 回 15%となり試作機利用畝と同等であった。これは、畝表層の碎土率が試作機利用畝の場合 59～78%で一輪管理機や既存畝立て機利用畝の 34～53%より高く、かつ、試験 1 に示したとおり畝表面に露出する稲わらや稲株が少なく、マルチフィルムと畝表面の接合が良好であったためと考えられた。また、試作機や既存畝立て機利用畝ではロータリ後部の畝成型板の作用で畝の表面に起伏が少なくなっていたことも転び苗の発生を少なくするのに効果があったものと考えられた。

以上の結果、試作機利用では畝表層の碎土率が高く、畝成型板の効果でマルチフィルムとの接合が良好となり、機械化移植における移植精度の確保に有効であると考えられた。

表 4-1-9 機械化移植精度の調査結果(試験 3)

畝立て方法	事前 耕うん (回)	表層0～ 5cm 砕土率 (%)	転び苗率 (%)	苗深さ (mm)	同左標 準偏差 (mm)
一輪管理機	1	36	35	4	7.0
	2	34	15	11	8.4
既存 畝立て機	1	45	0	2	4.4
	2	53	15	7	9.1
試作機(3.5cm)	1	64	5	12	5.5
	2	68	15	9	11.3
試作機(2.2cm)	1	59	0	-1	3.6
	2	73	0	0	0.9
試作機(1.3cm)	1	74	0	1	1.6
	2	78	0	3	4.2

- 注) 1) 4栽培の内条, 外条の各20株を調査.
 2) 砕土率は土塊径1cm未満質量割合. 事前耕うん前の土壤水分29.2%, ()内は耕うんピッチ.
 3) 転び苗は根鉢の転倒角30度以上のもので観察によった.
 4) 苗深さは苗の根鉢上面とマルチ面の間隔, 負値はマルチ面下.

3.3.5 畝内肥料分布に及ぼす影響(試験 4)

表 4-1-10 に畝内肥料分布の調査結果を示した.

供試した水稻後圃場は, 土壤水分が 18.1~19.9% (d.b.) で, 乾いた条件であった. ダウンカットロータリ利用畝の肥料分布は, 表層 0~10cm と下層 10~20cm の差が少なく, 畝横断方向では中央部がやや高くなる傾向であった. この場合, 事前耕うんの有無の影響は少なかった. これに対してアップカットロータリを用いた試作機利用畝では肥料分布は表層 0~10cm が下層 10~20cm より高く, 畝横断方向では中央部がやや高くなる傾向でダウンカット耕と同様な傾向であった. 試作機利用畝で表層 0~5cm の肥料分布が高かった理由として, アップカットロータリでは表層の砕土率がダウンカットロータリに比較して高くなることは森本ら⁽¹⁾も報告しているとおりであり, 肥料粒は粒径が小さいので表層への分布が高くなったものと考えられた.

以上の結果, 試作機利用畝における肥料分布は, 表層の分布がダウンカットロータリより高く, 畝横断方向の分布むらは少ないと判断された. なお, 一輪管理機利用畝との比較は行っていないが, 一輪管理機利用の慣行的な作業順として施肥はダウンカット耕の前に行い, 耕うんの後, 一輪管理機による培土(揚土)とする方法であるため, 本試験のダウンカット区と同様な肥料分布になると推察された.

表 4-1-10 畝内肥料分布の調査結果(試験 4)

区分	事前 耕うん	砕土率		採取深 (cm)	肥料分布(%)				計			
		採取深 (cm)	(%)		採取箇所							
					L19~37cm	L0~18	RL0~18	R19~37				
ダウン カット	無	0~5	31.9	0~10	9	16	14	8	47			
		5~10	34.5	10~20	11	18	12	12	53			
		-	-	計	20	34	26	20	100			
ロータリ	有	0~5	44.6	0~10	11	18	14	10	52			
		5~10	47.0	10~20	11	18	12	7	48			
		-	-	計	22	36	26	17	100			
試作機	無	0~5	64.4	0~10	15	22	16	11	63			
		5~10	52.8	10~20	6	12	11	8	37			
	-	-	計	21	34	27	19	100				
	有	0~5	67.1	0~10	11	19	18	13	61			
5~10		62.6	10~20	8	15	9	7	39				
					-	-	計	19	34	27	20	100

- 注) 1) 水稲後圃場において肥料の代わりに着色小麦粒 500g/m²を畝立て直前に均一散布して供試し、肥料分布の値は粒数割合を示す。
 2) アップカット(試作機)はM社 27kW トラクタ、ダウンカットおよび事前耕うんはI社 18kW トラクタによる。
 3) 試作機利用時の作業速度 0.25m/s, PT01. 土壌含水比(d. b.) 18.1~19.9%。
 4) 事前耕うんの耕うん回数は1回, 作業速度 0.19m/s, PT01. ダウンカット畝立て時も同様の条件とした。
 5) 事前耕うん時の耕深 13cm, いずれの試験区も畝立て高さ 18~20cm。
 6) 採取箇所の区分Lは左, Rは右を示す。

3.3.6 試作機利用がレタスの生育収量に及ぼす影響(試験 5)

1) 畝の土壌水分と地温の推移

図 4-1-3 に畝立て方法および事前耕うん回数と畝中央部 pF 値との関係を示した。

移植後の約 1 か月間は 4 回程度のまとまった降雨の影響ですべての区で pF 値は 1.7 以下となったが、試作機利用畝は一輪管理機や既存畝立て機利用畝より高く推移し、降雨後の排水性に優れる傾向が認められた。この場合、一輪管理機と既存畝立て機利用畝の pF 値は、事前耕うん回数 2 回の場合が 1 回の場合より高く推移したが、試作機利用畝合では、耕うん回数が異なっても同じ程度の土壌水分で推移した。試作機利用畝が一輪管理機や既存畝立て機利用畝より排水性に優れた理由として、試験 2 のとおり試作機利用畝では畝上層の砕土率が高く、下層は低い畝構造ができていたためと考えられた。

河森⁽³⁾は静岡県のグライ土壌におけるレタス産地の育成には、降雨の多い年に余剰水による湿害を受け易いので畝内土壌水分の迅速な排水を図ることが重要であるとしている。また、真鍋ら⁽⁴⁾は、香川県内に多い灰色低地土は細粒質な地域と粗粒質な地域とが存在するが、その共通した収量支配要因は、作土層の有効水分を確保することであると報告している。本試験では有効水分について確認できていないが、後述のレタス収量の調査結果を併せて勘案すると、試作機利用によって作土層の余剰水を早く排出すること

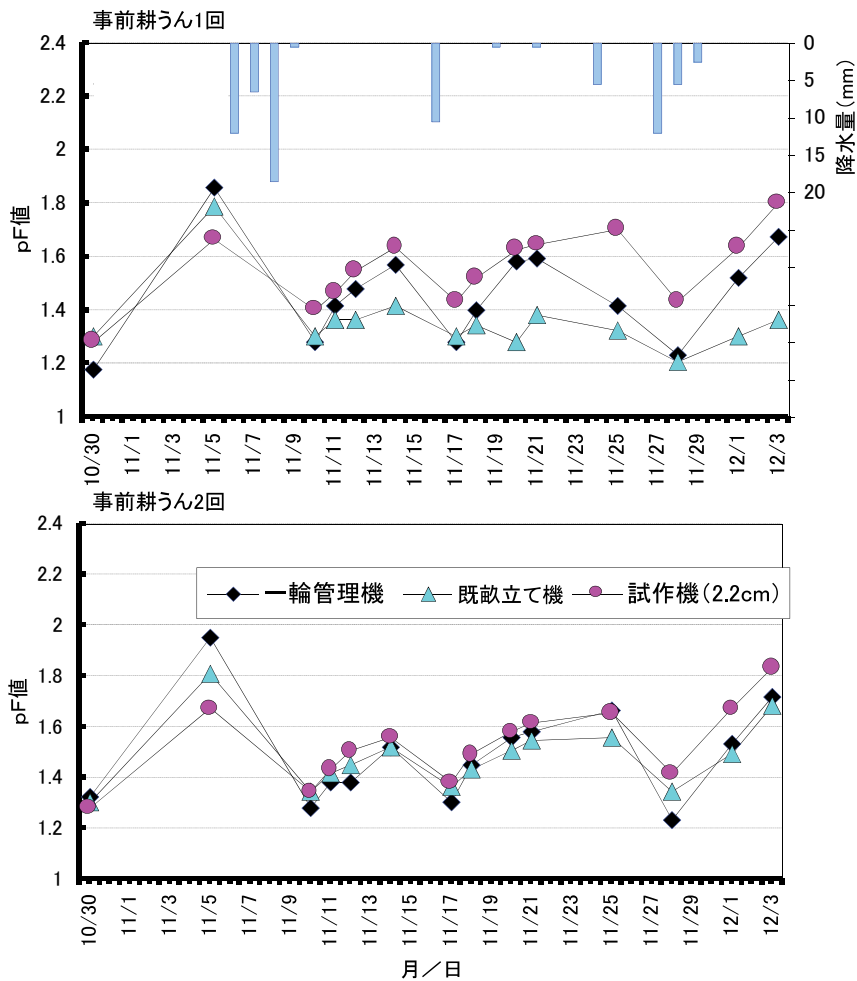


図 4-1-3 畝立て方法および事前耕うん回数と畝中央部 pF 値 (2008)

- 注) 1) トンネル設置前, 畝横断方向中央部の深さ10cm.
 2) レタス栽培中での調査結果, 試作機 () 内は耕うんピッチ.
 3) レタス苗の移植日は10月28日.

はレタスの生育に良好な水分状態を確保しやすくすることに繋がるものと推察された。

次に, 図 4-1-4 にトンネル設置前における畝立て方法別の畝中央部地温推移を示した。図中のプロット点は測定期間を1日の正時別に平均した値である。

試作機利用畝の地温は, 一輪管理機や既存畝立て機による畝よりやや高く推移し, 特に16~17時は他より0.5℃程度高かった。この理由は, 明らかでなかったが前述の畝表層土壌水分が低く推移していたことも一因ではないかと考えられた。これについては, 本章の第3節において再調査することとした。

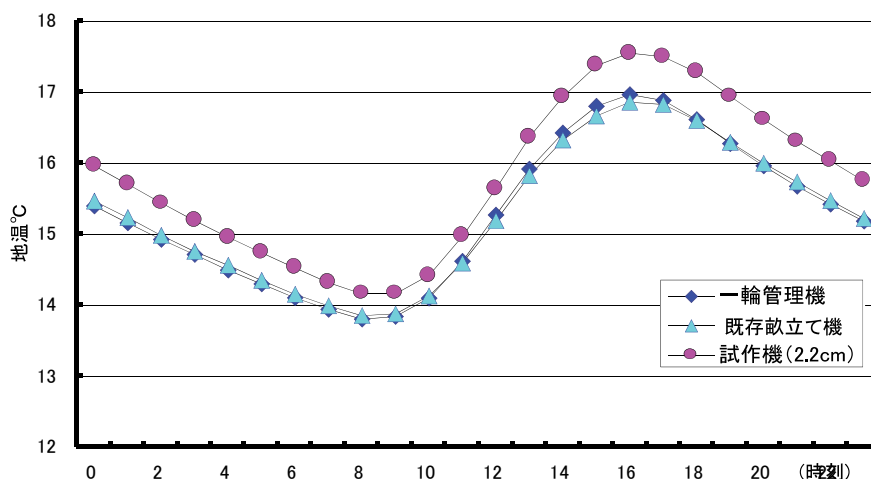


図 4-1-4 畝立て方法と畝中央部の地温推移(2008)

- 注) 1) 試作機の()内は耕うんピッチ, 供試圃場は事前耕うんがある場合.
 2) 地温測定はT&D社TR-71U, センサTR-1220使用, 畝中央部の深さ10cmを測定.
 3) 測定期間はトンネル設置前の2008年11月5日~18日の2週間. 図中のプロット点は2週間の時刻ごとの平均値を示す.

2) 収量

表 4-1-11, 12 にレタスの収量調査結果等を示した.

試作機利用畝のレタス収量は, レタスの生育初期に湛水がない場合, 一輪管理機や既存畝立て機利用に比べて高く, 2005年栽培で最大121%, 同じく2008年栽培153%と増収した. しかし, 畝溝に湛水した場合には試作機による畝では減収率がやや大きかった.

畝溝に湛水しない場合において一輪管理機や既存畝立て機利用畝に比べて試作機利用畝で増収傾向となった理由は, 試作機による畝の碎土率が一輪管理機や既存畝立て機に比べて平均的に高く, 前掲表 4-1-9 に示したとおり, 移植精度が向上してレタス移植後の活着がスムーズであったことが一因すると考えられた. これに対して畝溝に湛水した場合で試作機利用畝の減収割合が大きかった理由は, 試作機利用畝では畝下層の土塊径が大きいために肥料分の溶脱が他の区よりも大きくなったことが考えられた.

片岡ら(5,6)は, トウモロコシ, 大根等を対象とした耕うん方法と生育収量に関する報告

において、猛暑と冷夏の両極端なコンディション下においてアップカット耕がダウンカット耕より増収傾向を示したとし、気候に関係なく作物の生育と耕うん条件の間には重要な関係が示唆されるとしている。すなわち、2005年栽培における試作機利用畝では事前耕うんの有無によって碎土率は大きく異なったもののレタス収量は同等であったこと、また、事前耕うんがある場合の試作機利用畝における表層0～5cmの碎土率は、一輪管理機とほぼ同程度で高くなかったにもかかわらず、レタス収量は試作機利用畝で高かったこと、さらに2008年栽培の試作機では、事前耕うん回数は1回より2回の方が碎土率は高かったにもかかわらず、レタス収量は同等かやや減少傾向であったことなどを勘案すると、試作機利用畝におけるレタスの増収傾向は単に碎土率の向上だけに起因するものではないと考えられた。すなわち、移植精度の確保や施肥位置、排水性の向上、地温の上昇がレタスの生育に大きく影響したものと考えられた。

なお、畝溝に湛水した場合としない場合の収量の違いについては後述の異なる土塊径土層とレタスの生育の項で述べるが、試作機利用畝ではレタス栽培中の降雨によって畝溝に滞水が生じないよう雨水の迅速な圃場外排水が特に重要であると考えられた。

表 4-1-11 畝立て方法および湛水の有無とレタス収量(2005)

区分	事前 耕う ん	畝立て後碎土率(%)			湛水無・収量(g)			湛水有・収量(g)		
		0～ 5cm	5～ 10cm	10～	全重	球重	同左指数	全重	球重	同左指数
一輪管理機 既存 畝立て機	有	60	37	17	759	405	100	700	379	96
	有	46	48	26	717	379	96	710	393	97
試作機	有	53	40	41	824	473	117	643	352	87
	無	76	60	53	835	479	118	661	370	91

注) 1) 碎土率は土塊径1cm未満質量割合，事前耕うん前の土壌含水比33.5%。

2) 収量調査：2006年2月23日，球重指数は湛水無区の「一輪管理機」区を100とした。

表 4-1-12 畝立て方法とレタス収量(2008)

事前耕うん	畝立て法	畝立て後碎土率(%)		全重 (g)	球重	
		0~5cm	5~10cm		(g)	指数
1回	一輪管理機	36	38	712	441	107
	畝立て機	45	42	751	443	107
	試作機(3.5cm)	64	56	799	498	121
	試作機(2.2cm)	59	59	1025	634	153
	試作機(1.3cm)	74	73	896	564	136
2回	一輪管理機	34	32	761	457	111
	畝立て機	53	65	722	413	100
	試作機(3.5cm)	68	64	857	528	128
	試作機(2.2cm)	73	64	930	568	138
	試作機(1.3cm)	78	76	791	459	111

注) 1) 碎土率は土塊径 1cm 未満質量割合. 事前耕うん前後の土壤含水比 29.2%
 2) 試作機カッコ内数値は耕うんピッチを示す.
 3) 収量調査は 2009 年 2 月 6 日に実施, 球重指数は事前耕うん 2 日回の「畝立て機」区を 100 とした場合を示す.

3.3.7 異なる土塊径土層がレタスの生育に及ぼす影響 (試験 6)

表 4-1-13 に異なる土塊径土層とレタスの生育に関する木箱試験の結果を示した.

レタス栽培期間中の土層沈下率は, 平桶の水深が 5cm の場合, 試験開始初期に大きくその後は緩慢な沈下となった. 移植 77 日後の沈下率は土塊径 2~3mm 区で 14%とやや高かったものの, 他は 10~12%でほぼ同程度であった. また, 土塊径 10~20mm 区と 20~30mm 区においては移植 20 日後から 7 日間, 水深を 5cm から 15cm とした場合の沈下率への影響はほとんど認められず, 土塊径による差も認められなかった.

土層の pF 値は移植から排水日までは土塊径の影響はなく, いずれも pF1.0~1.2 であった. 移植 47 日後に平桶の水を排水して 0cm としてから 37 日後までの pF 値推移は, 1.0 から 2.6~2.8 にほぼ直線的に増加し, 土塊径が小さい場合にやや高くなった. ただし, 平桶の水深を 15cm とした場合の土塊径 20~30mm 区では, pF 値の増加は 1.1 から 2.4 となり, 水深 5cm の場合の 1.0 から 2.6 に比べるとやや低く留まる傾向であった.

レタスの地上部重量は, 土塊径 3~10mm 区および 10~20mm 区が 2~3mm 区や 20~30 mm 区より高く, 湛水深を 7 日間 15cm とした区は 5cm の場合より低かった. こうしたレタス地上部重の差は, レタスへの灌水方法を底面給水としたことや施肥法を局所穴肥としたことから灌水方法や施肥法の影響は少ないと考えられ, 土塊径や湛水深の差によるものと考えられた.

以上のことから, 土層の土塊径は細か過ぎても大き過ぎてもレタスの生育に不適で,

3～10mm, 10～20mm の場合が適するものと考えられた。これには土壌の孔隙率が関与しているものと思われ, 土塊径が小さいと沈下によって孔隙率が小さくなり, 土塊径が大きいと沈下は少ないものの毛管水による水分補給が不足がちになるものと考えられた。さらに, レタスの生育初期に地下水位が高くなるとレタスの生育が劣ったのは, 肥料分の溶脱によるものと考えられ, 試験 5 の圃場栽培試験における畝溝湛水の結果と同様であると考えられた。

以上の結果と試験 5 の圃場栽培試験の結果を総合すると, 試作機利用畝では一輪管理機や既存畝立て機利用畝に比べて畝の碎土率が高く, かつ, 排水性が良いため, 降雨によって畝溝に滞水が生じないことを条件に増収が見込めるものと考えられた。

表 4-1-13 異なる土塊径土層とレタスの生育に関する木箱試験の結果

区分	土塊径 (mm)	土層沈下率(%) (移植後日数)		移植日 ～排水日	pF値 (排水後日数)		地上部重 (g)
		23日後	77日後		0日後	37日後	
		細	2～3	13	14	1.0～1.2	
小	3～10	10	12	1.0～1.2	1.0	2.8	599
中	10～20	9	11	1.0～1.2	1.0	2.7	589
大	20～30	10	12	1.0～1.2	1.0	2.6	511
中(深)	10～20	9	12	0.5～1.2	1.1	2.7	507
大(深)	20～30	7	10	0.5～1.2	1.1	2.4	503

- 注) 1) 初期土層深さは 20cm, 土層沈下深は土層充填日(レタス移植日)を基準とした。
 2) 区分(深)は移植後から 7 日間, 水深を 5cm から 15cm に深くした区, 他は水深 5cm。
 3) 移植 49～791 日後は排水し, 水深 0cm とした。
 4) レタス地上部重は移植 110 日後に収穫して調査した。

4. まとめ

試作機による畝立てでは, 目標仕様に示した形状の畝立てが可能で, 一輪管理機や既存畝立て機による畝よりも前作稲わらや稲株の鋤込みに優れるとともに畝表層の碎土率が高く, 移植機利用時の植付け精度向上に効果があった。また, 試作機利用畝でのレタスの生育収量は一輪管理機や既存畝立て機利用畝よりも優れる傾向であった。

しかし, 試作機に適合するトラクタの出力は, 前述のとおり出力 27kW のトラクタでも湿った土壌条件ではエンジンへの過負荷が生じた。これを避けるため, 作業速度を低速とすると耕うんピッチが小さくなり, 碎土率が高くなりすぎて畝溝滞水が生じる降雨があるとレタス生育に悪影響が生じることが危惧された。このため, 2008 年以降におい

て、農機メーカーの協力のもと試作機を 30kW 級のトラクタに装備したところ、事前の耕うんを行わない場合でもトラクタ作業速度 0.2~0.3m/s, PTO 軸回転数設定“1”(回転数 560rpm, ロータリ軸回転数 160rpm, 耕うんピッチ 7~11cm) での耕うん畝立て作業が可能であることを確認した。

細川⁽⁷⁾は重粘土地帯等の排水不良田における大豆の安定生産を目的に、アップカットロータリを利用した耕うん同時畝立て播種技術を開発した。使用したロータリはホルダ爪, 爪回転半径 245mm, 爪密度 47mm/本, 作業幅 1,700mm で、今回試作したロータリと作業幅は 100mm 短いものの、他は、ほぼ同仕様のロータリに対し、適するトラクタ出力は 30kW としている。試作機の当初の目標仕様は 22kW トラクタでの利用を想定したが、試作機の利用に適するトラクタは 30kW 以上が必要であると考えられた。

第IV章・第1節の参考文献

- (1)十川和士・山浦浩二・西村融典, 2002, 畝立てマルチ同時施肥技術の開発, 香川農試・農業機械に関する試験成績書, 17~18
- (2)森本圀夫・三浦恭志郎・八木 茂・唐橋 需, 1983, レーキ付きアップカットロータリの作業性能, 農業機械学会誌, 45(3), 375~378
- (3)河森 武, 1972, 野菜栽培土壌の適正判定と土壌水分管理, 土壌物理学会編“土壌の物理性 26”, 14~32
- (4)真鍋 武夫・白井美和・大熊正寛, 1979, レタスの生産性に及ぼす土壌条件について - 豊浜町・大野原町における調査事例 -, 香川県農業試験場研究報告 31, 10~15
- (5)片岡 崇・小野寺一宏・太田義信・千田広幸・八橋米太郎, 1994, 耕深アップカットロータリ耕耘の作物成育への効果 I - 1993 年度の生育及び収量調査結果 -, 岩手大農報 22(1), 7~14
- (6)片岡 崇・生内 修・太田義信・千田広幸・八橋米太郎, 1995, 耕深アップカットロータリ耕耘の作物成育への効果 II - 天候の影響を考慮した生育及び収量調査 -, 岩手大農報 22(3), 131~140
- (7)細川 寿, 2004, 大豆の耕耘同時畝立て作業機による重粘土転換畑の湿害回避技術, 農業機械学会誌, 66(5), 14~16

第2節 アップカット耕うん畝立て施肥マルチ敷設機による畝立て作業の作業能率

1. 研究目的

第IV章の第1節で畝立て精度とレタスの生育収量を検討したアップカット耕うん畝立て施肥マルチ敷設機を基に、農機メーカーが実用化した市販機について、普及に向けた問題点抽出のため、現地栽培農家で作業能率や適応性を明らかにするとともに、狭小圃場の多い香川県内での適応性拡大のため、多くの時間を要する枕地処理作業の改善により作業能率の向上を図る。

2. アップカット耕うん畝立て施肥マルチ敷設機の作業能率（試験1）

2.1 供試機

図4-2-1に供試したアップカット耕うん畝立て施肥マルチ敷設機（市販機）の外観と作業状況を示した。

供試したアップカット耕うん畝立て施肥マルチ敷設機は、第1節の試作機をモデルとして畝成形器付きアップカットロータリ（I社WAY183-02、作業幅1.8m）をベースに施肥機（J社V-P10：タンク容量50l×3基）、マルチ敷設機（S社）を備えたもので、乗用トラクタ（I社AT46：34kW）に装着して試験に供した。本機の畝立て機能は第1節の試作機と同等であるが、施肥は2種の肥料を同時に施用することができるよう前部タンク2基と後部タンク1基に区分利用して、それぞれ前部タンク2基にはA肥料をロータリの均平板直前部に備えた4基の作溝器によりレタス苗横10cm、深さ10cmに作条施肥し、後部タンク1基にはB肥料をリヤカバーの均平板後部の畝表面に幅1.2mで散播施肥するようにしている。

このアップカット耕うん畝立て施肥マルチ敷設機（市販機）とマルチ敷設後の培土作業に一輪管理機（I社SK60：4.4kW）を利用した体系を新畝立て作業体系（以下、新体系）とした。

対照の慣行畝立て作業体系（以下、慣行体系）に用いた既存畝立て施肥マルチ敷設機の外観を図4-2-2に示した。

既存畝立て施肥（畝面施肥：B肥料）マルチ敷設機（F社：75B）は7.4kW乗用耕耘機に直装して利用した。また、慣行体系では事前耕うん用としてI社18.4kWトラクタ、A肥料の施肥には自走式ブレードキャスト（K社4CMF60：搭載エンジン2.0kW）、マルチ上への培土は一輪管理機（I社SK60：4.4kW）を使用した。



図 4-2-1 アップカット耕うん畝立て施肥マルチ敷設機の外観と作業状況



図 4-2-2 既存の畝立てマルチ敷設機の外観

注) 既存畝立て機は畝盛り爪を装備したダウンカットロータリに畝表面施肥とマルチ敷設機能を装備したもの。ただし、図はマルチ敷設機をはずしている状態。

2.2 試験方法

新体系の作業能率は長辺 107m、短辺 21.5m の水稻後堆肥鋤込み農家圃場 23a（観音寺市）において調査した。畝立て作業はトラクタの枕地旋回幅を長辺方向の片側のみに 4m 取り、長辺方向の一方向作業とした。作業員はトラクタオペレータ男性 35 才と補助

作業員男性 56 才の 2 名とし、補助作業員はマルチフィルムや肥料の補給、枕地でのマルチフィルムの固定や切断、枕地でのトラクタ轍の均平、マルチフィルム上への培土作業を分担した。

作業順序は、供試機を用いて畝立て同時施肥マルチ敷設を行い、一輪管理機 (4.4kW) で展張したマルチフィルム上への培土する順とし、2 種の肥料の施肥量は肥料 A : 140kg/10a, 肥料 B : 40kg/10a とした。マルチフィルムは厚さ 0.01mm, 幅 135cm, 長さ 200m の無孔タイプを用いた。なお、新体系の作業能率の検討にあたっては供試圃場には予め堆肥が鋤込まれていたことを勘案し、その時間を作業能率に算入することとした。

対照の慣行体系の作業能率は長辺 50m, 短辺 10m の香川農試内圃場 5a で調査した⁽¹⁾。作業員はオペレータ男性 32 歳, 補助作業員男性 47 歳とし、作業順序は、3 回の事前耕うん→施肥→畝立て同時畝面施肥マルチ敷設→マルチフィルム上への培土の順とし、肥料種類, 施肥量, マルチフィルムは新体系のものと同じものを使用した。

調査項目は作業速度の他、作業を畝立て、旋回、肥料補給、マルチ補給・セット・カット、肥料、マルチフィルム上への培土作業に区分して、それぞれの作業時間を測定した。作業速度は安定して作業を行っている区間 10m を 5 箇所設定し、その区間の所要時間を測定して求めた。

2.3 結果および考察

表 4-2-1 に供試機による主要作業時間と作業能率の調査結果を示した。

供試機による長辺方向の一方向作業を前提とする畝立て作業は作業速度 0.3m/s, 復路移動速度 0.8m/s で作業能率は 1.1h/10a, 延べ作業時間は 2.2 人時/10a であった。作業内容別の割合は本地の畝立て時間 41.2%となり、次いでマルチ終時間 (枕地部分のトラクタ轍の均平, マルチフィルムの繰出しとカットおよびマルチフィルム終端の固定時間) が 16.1%, マルチ始時間 (マルチフィルム始端の固定時間) が 14.5%を占めた。

次に、新体系による畝立て延べ作業時間を既存畝立て機による慣行体系と比較した結果を表 4-2-2 示した。

新体系による畝立て同時施肥マルチ作業と事前耕うんおよびマルチフィルム上への培土作業を含めた延べ作業時間は 3.3 人時/10a であった。一方、既存畝立て機利用による慣行体系の場合は 5.4 人時/10a で、新体系では 2.1 人時/10a (39%) の時間短縮が図れた。この時間短縮の内訳は、2 種の肥料の同時施肥によるものが 0.7 人時/10a, 事前耕うんの回数を低減できたことによるものが 1.4 人時/10a となり、アップカッター

リ利用では事前耕うんを低減しても畝立て精度を維持しやすいことによる効果が大きいと考えられた。

表 4-2-1 供試したアップカット耕うん施肥畝立てマルチ敷設機の主要作業時間と作業能率

項目	単位	-	10a当たり			
			項目	min	割合(%)	摘要
畝立て作業速度	m/s	0.3	畝立て作業時間	28.1	41.2	11行程
復路移動速度	m/s	0.8	復路移動時間	9.6	14.1	旋回含む
180度旋回時間	min/回	1.0	枕地耕うん時間	2.1	3.1	1行程
マルチ始時間	min/回	0.9	マルチ始時間	9.9	14.5	11回
マルチ終時間	min/回	1.0	マルチ終時間	11.0	16.1	11回
マルチ補給時間	min/回	0.5	マルチ補給時間	1.5	2.2	3回
肥料補給時間	min/回	2.0	肥料補給時間	6.0	8.8	3回
			合計	68.2	100.0	
			作業能率	1.1	—	h/10a
			延べ作業時間	2.2	—	h人時/10a

- 注) 1) 一方向作業で、枕地の一方は長さ 4m の無栽培地とする。
 2) マルチ始・終および肥料とマルチの補給には 1 名の補助がある。
 3) 肥料は 2 種で、施肥量は肥料 A140kg/10a, 肥料 B40kg/10a。
 4) 作業能率は 50m×20m 圃場に換算。
 5) 180 度旋回には行合わせ時間を含む。

表 4-2-2 新体系による畝立て延べ作業時間

区分	作業名	作業機	摘要	人員	人時/10a	合計
新体系	事前耕うん	トラクタ+ダウン カット耕うん (1 回耕)	18.4kW、ロータリ幅 1.5m	1	0.7	3.3
	畝立て・施肥 AB・マルチ敷 設	トラクタ+アップ カット耕うん畝立 て施肥マルチ敷設 機	33kW、肥料タンク容 量50L×3基、アップ カットロータリ1.8m	2	2.2	
	培土	一輪管理機	作業幅1.8m、4.4kW	1	0.4	
慣行体系	事前耕うん	トラクタ+ダウン カット耕うん (3 回耕)	18.4kW、ロータリ幅 1.5m	1	2.1	5.4
	施肥A	歩行形ブレンド キャスタ	ホッパー容量70L	1	0.5	
	畝立て・施肥B マルチ敷設	7kWトラクタ+畝 立て機施肥マルチ 敷設機	作業幅1.8m	2	2.4	
	培土	一輪管理機	作業幅1.8m、4.4kW	1	0.4	

- 注) 1) 「デモ機利用の体系」ではマルチセットとカットおよび轍の整地作業について補助員を含む
 2 人作業で行った。
 2) 施肥 A は畝内、施肥 B は畝表面に行った。

なお、本試験を実施した農家圃場は、長辺が 107m と長かったので、農家の要望もあり、作業は長辺方向の一方向作業として長辺の片側はレタスを栽培しない枕地とした。狭小圃場が多い香川県では無栽培の枕地を広くとると本地面積が減少するので、ほとんどの圃場で畝立ては長辺方向の通し畝としている。アップカット耕うん畝立て施肥マルチ敷設機のトラクタを含めた全長は既存畝立て機に比べて長くなるため、手作業による枕地処理時間が長くなり、既存畝立て機利用に対する利点は小さくなるものと推定された。このため、アップカット耕うん畝立て施肥マルチ敷設機の作業能率の向上には合理的枕地処理法の確立が重要であると考えられた。

3. 枕地処理方法の改善による作業能率向上法の検討（試験 2）

3.1 供試機

第 1 節の試験機を M 社 GX37 : 27kW のトラクタに直装したもの。畝立て後のマルチフィルム上への培土は一輪管理機（I 社 SK60 : 4.4kW）を使用した。

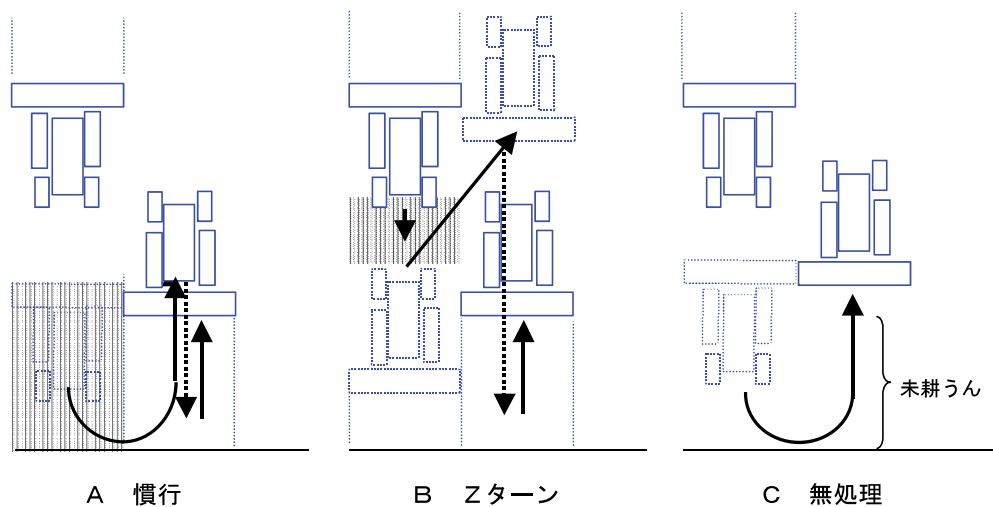
3.2 試験方法

図 4-2-3 に枕地処理試験の試験区概要図を示した。枕地処理の方法は A : 慣行処理, B : Z ターン, C : 無処理の 3 試験区として、表 4-2-3 に示す畝立て作業時の作業項目ごとに所要時間を調査した。このうち、慣行処理法は、予め枕地部をトラクタで畝直角方向に耕うん施肥（畝内用肥料）しておき、本地の畝立て後に補助作業員と共同で手作業により均平→畝立て→施肥（畝表面用肥料）→マルチ→培土作業を行い、通し畝とする方法である。また、Z ターンは枕地部の手作業による整地・畝立て量をなるべく少なくしようとするもので“Z”状にトラクタを操作する。さらに、無処理は枕地のトラクタ旋回部分を耕うん畝立てせずに残す方法で、畝長が慣行処理法や Z ターンに比べて短くなる方法である。

試験は香川農試場内圃場で行った。マルチフィルム上への培土には一輪管理機（I 社 SK60 : 4.4 kW）を使用した。トラクタオペレータは男性 63 才、作業の補助は女性 66 才による。その他、マルチフィルムは試験 1 と同じものを使用した。

枕地処理方法の違いによる畝立て延べ作業時間の比較は、試験により得られたデータに本地部分における既存のデータを加え、10a 圃場での作業時間に換算して示した。

調査項目として、畝立て時の作業項目ごとに作業時間を調査した。なお、作業項目別の作業内容について慣行処理法の事例を図 4-2-4 に示した。



○枕地旋回部は事前に耕うんしておき、本地の畝立てと枕地旋回の後、斜線部を手作業で整地→畝立て→マルチ敷設→培土作業を行い、通し畝とする。

○事前耕うんは無く、枕地部でトラクタを旋回させた後、畝立てしながら途中で斜行し、その後、後退して次行程の畝立てを始める。手作業部分が慣行法より少なくなる。

○枕地部は畝立てせずにトラクタの旋回幅を残す。手作業での整地、畝立て作業は省略できる。ただし、本地の畝立て距離は短くなる。

図 4-2-3 枕地処理法の概略

表 4-2-3 畝立て作業時の作業項目と内容

作業種類	作業内容	人員
マルチ始	トラクタは作業開始点から3m程度畝立てして停止、マルチ敷設機からマルチを手動で引き出し、端部を枕地部に土で固定する。	2
本地作業	供試機により本地部分を耕うん畝立て施肥マルチ敷設する。	1
トラクタ旋回	枕地部分の180度旋回の外に、枕地耕うん時の90度旋回を含む。	1
枕地耕うん	本地の耕うん畝立て前に枕地部分を2行程耕うんする。	1
マルチ終	供試機による本地部分の畝立て作業の終端においてマルチフィルムを適当な長さで切断し、畝終端部に仮置きする。また、枕地部の畝立て後はマルチフィルムを展張し、端を固定する。	2
枕地割り	枕地部分の整地後、1輪管理機で概ねの畝溝を通す。	1
枕地手均し	上記の後、畝天場面を均平に仕上げる。	2
枕地培土	枕地部の畝溝の土を畝上に手作業で培土する。	2
マルチ培土	1輪管理機を使って枕地部分も含めて展張したマルチフィルム上に2回培土する。	1
マルチ補給	長さ200m巻きのマルチフィルムが無くなると紙管を除き、新しいものに交換する。	2
肥料補給	50L*2基の肥料タンクへ肥料を補給する。	2



a 枕地でのトラクタ隣接旋回



b 手作業による轍の整地



c 手作業によるマルチの部分固定



d 一輪管理機によるマルチの固定



e 次行程のマルチ始め



f 次行程の畝立て

図4-2-4 慣行枕地処理法の作業項目別内容

3.3 結果および考察

表 4-2-4 と図 4-2-5 に枕地処理方法と畝立て延べ作業時間の調査結果を示した。

Z ターンを利用した畝立て延べ作業時間は 3.4 人時/10a で、慣行法の 3.9 人時/10a より 13%短縮した。また、無処理では 2.4 人時/10a となり、慣行法に比べ 38%短縮した。

枕地処理作業のうち、枕地部分に残るトラクタの轍を手作業で均す「手均し」の作業時間が慣行法で延べ作業時間の41%、Zターンでは35%、無処理では21%となり、いずれの旋回法でも大きなウェイトを占めた。畝立て延べ作業時間の短縮には、この「手均し」作業量を少なくすることが重要であると考えられた。なお、Zターンではトラクタのハンドル操作が多くなるため、より効果的な時間短縮にはトラクタのハンドル操作に熟練する必要があるとみられた。

表 4-2-4 枕地処理方法と畝立て延べ作業時間

作業名	慣行			Zターン			無処理		
	人時	作員	割合%	人時	作員	割合%	人時	作員	割合%
マルチ始	0.3	2	7	0.3	2	8	0.3	2	11
本地作業	0.7	1	18	0.7	1	21	0.8	1	33
トラクタ旋回	0.4	1	10	0.4	1	11	0.2	1	7
枕地耕うん	0.1	1	3	0.0	1	0	0.0	0	0
マルチ終	0.2	2	5	0.2	2	5	0.1	1	3
枕地割り	0.1	1	2	0.0	1	0	0.0	0	0
枕地手均し	1.6	2	41	1.2	2	35	0.5	2	21
枕地培土	0.0	2	0	0.1	1	2	0.0	0	0
マルチ培土	0.4	1	11	0.4	1	12	0.4	1	17
マルチ補給	0.1	2	1	0.1	2	1	0.1	2	1
肥料補給	0.2	2	5	0.2	2	6	0.2	2	8
合計	3.9	—	100	3.4	—	100	2.5	—	100
上記指数	100%			87.2%			61.5%		

- 注) 1) 50m×20mの圃場で実施。
 2) 枕地割りとマルチ上への培土作業は一輪管理機を使用。
 3) 畝立て施肥マルチ機を搭載したトラクタを含む全長は5.4m。
 4) 「指数」は慣行処理の合計時間を100%とした。

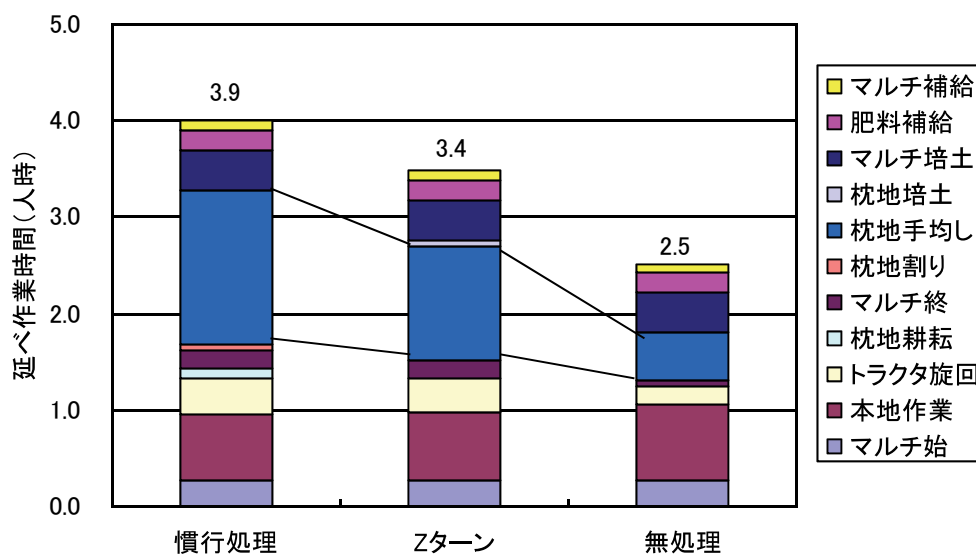


図 4-2-5 枕地処理方法と畝立て延べ作業時間

4. まとめ

市販品のアップカット耕うん畝立て施肥マルチ敷設機を用いた新体系での作業能率は既存の畝立て機を用いた慣行体系に比べて延べ作業時間で 38%の短縮効果がみられたがその主要因は畝立て前の事前耕うん回数を低減できたことによるものであった。また、アップカット耕うん畝立て施肥マルチ敷設機の作業能率の向上には枕地部分に残るトラクタの轍を手作業で均す「手均し」の作業量を低減する必要がある、Z ターンによる枕地旋回法は有効な方法と考えられた。さらに作業能率を向上させるには「手均し」の作業を省略することが効果的であり、適用する圃場の大きさに留意が必要であると考えられた。

第IV章・第2節の参考文献

- (1)十川和士・山浦浩二・西村融典，2002，畝立てマルチ同時施肥技術の開発，香川農試・農業機械に関する試験研究成績書，17～18

第3節 アップカット耕による畝立てが地温と冬どりレタスの収量に及ぼす影響

1. 研究目的

第IV章の第1節においてアップカット耕うん後の畝立てマルチ被覆畝では表層地温が慣行畝立て法の一輪管理機やダウンカット耕の既存畝立て機による場合に比べて高くなる結果を得た。地温が高いことは冬どりレタスの収量確保に好環境であると考えられ、アップカット耕の長所の一つとなりうる。このため、アップカット耕によって地温が上昇する理由を明らかにするとともに冬どりレタスの生育収量に及ぼす影響を明らかにする。

2. 供試機と試験区

2.1 供試機

アップカット耕による畝とダウンカット耕による畝の表層地温の差異を明確にするため、アップカットロータリ、ダウンカットロータリとも複数の機種を供試して比較した。試験に供試したロータリの概要を表 4-3-1 に、また、供試したアップカットロータリの外観を図 4-3-1 に示した。

供試機したアップカットロータリは、I 社 WAY183（第1節の試作に用いた機種と同じであるが、尾輪はロータリの後ろに装備している。以下、I 社 U）と Ma 社 APU1810H（以下、Ma 社 U）の2機種とした。この2機種は2009年頃から、香川県内に導入が始まっており、いずれも耕うん爪の固定法はホルダ式で内盛り耕に配されている。ただし、I 社 U ではロータリの畝成型板の機能と併せて畝の天場幅が 1.45m の屋根形となるように、図 4-3-1 に示すとおり、リヤカバーを固定して、その後部には可動フラップを連結する改造を行っている。

これらの供試機を直装するトラクタは、I 社 U は 27kW、Ma 社 U は 34kW とした。

対照のダウンカットロータリは Ma 社 AXS1810（以下、Ma 社 D）を 34kW のトラクタに、I 社 ARG15（以下、I 社 D）を 18 kW のトラクタに搭載して供試した。また、畝立てには F 社 B75 トップマルチ仕様（以下、F 社 D）を 7 kW の乗用耕うん機に直装して供試した。

表 4-3-1 供試ロータリの概要

ロータリ	同左型式	略称	作業幅	質量	耕うん爪	耕うん爪 切削幅	耕深 調整	ロータリ 径	ロータリ 回転数	備考
アップ カット	I社： WAY183	I社U	1.8m	260kg	ホルダ式 42本	50mm	尾輪	490mm	PTO 540rpm時 160rpm	1盛りの畝立て用に耕 うん爪を配置。リヤカ バーは固定している。
アップ カット	Ma社： APU1810H	Ma社U	1.8m	405kg	ホルダ式 36本	60mm	尾輪	510mm	PTO 540rpm時 193rpm	1盛りの畝立て用に耕 うん爪を配置。
ダウン カット	Ma社： AXS1810H	Ma社D	1.8m	425kg	フランジ 式 38本	100mm	自動	500mm	PTO 540rpm時 181rpm	耕うん爪は平面耕配 置。
ダウン カット	I社： ARG15	I社D	1.5m	265kg	ホルダ式 36本	50mm	自動	490mm	PTO 540rpm時 183rpm	主として畝立て前の事 前耕うんに利用。うん 爪は平面耕配置。
畝立て 専用	F社： 75B：トップ マルチ仕様	F社D	1.8m	68kg	ホルダ式 20本	畝盛り爪	尾輪	400mm	123rpm	ロータリ回転数は出力 7kWのトラクタ搭載時 の実測値。

注) 1) ダウンカット I 社 AGR15 だけが作業幅 1.5m となっているが、本機は畝立て前の事前耕うんに使用したもので畝立てには使用しなかった。

2) 耕深調整の「尾輪」は尾輪高さにより耕深を調整することを示し、「自動」はトラクタ側の耕深制御を利用したことを示す。



I 社 U:WAY183



Ma 社 U:APU1810H

図 4-3-1 供試したアップカットロータリ

注) WAY183 はリヤカバーを改造しており、○印部分のヒンジ位置に畝成形用のフラップを備えている。このフラップは中央が高く、両サイド方向に低くなっており、畝を屋根型に成形できるようにしている。

2.2 試験項目と試験区

試験 1～3 ではアップカット耕による畝の表層土壌の物理性が地温に及ぼす影響を明らかにするため、ダウンカット耕による畝と比較した。また、試験 4～7 ではアップカット耕による畝表層土壌の物理性と地温がレタスの収量に及ぼす影響を明らかにするた

め、ダウンカット耕による畝と比較した。

表 4-3-2 に試験 1～3 の試験区を示した。

試験 1 では、水稻作後圃場において、アップカット耕とダウンカット耕の碎土率の差が耕うん後表層地温に及ぼす影響を明らかにするため、アップカット耕 Ma 社 U とダウンカット耕 Ma 社 D を供試して比較した。この場合、碎土率の影響を明確にするため、両耕うん法による碎土率の差が大きくなるようアップカット耕 Ma 社 U に比べてダウンカット耕 Ma 社 D の耕うんピッチを大きくし、耕深水準を“浅”（4～6cm）と“深”（14～16cm）の 2 水準を設けて実施した。

試験 2 では、水稻作後圃場において、アップカット耕とダウンカット耕による慣行畝立て法の畝表層土壌の物理性と地温を比較するため、アップカット耕 I 社 U と慣行畝立て法の Ma 社 D+ F 社 D（以下、Ma・F 社 D）を供試し 2 反復で比較した。

試験 3 では、代かき排水後 1 か月を経た圃場において、アップカット耕における耕深および事前耕うんの有無が畝表層土壌の物理性と地温に及ぼす影響を明らかにするため、アップカット耕 I 社 U を供試し、耕深水準 2 水準と事前耕うんの有無を設け 2 反復で比較した。

表 4-3-2 アップカット耕による畝表層土壌の物理性と地温調査の試験区分

試験番号	実施年(年.月)	供試圃場	区分	装着トラクタ出力(kW)	作業速度(m/s)	畝立て PTO 設定	耕うんピッチ(cm)	耕深	事前耕の有無	反復回数
1	2012 4～5	水稻作後 藁無し	Ma社U浅	34	0.14	1	4.5	浅	無	1
			Ma社U深	34	0.14	1	4.5	深	無	
			Ma社D浅	34	0.56	2	12.2	浅	無	
			Ma社D深	34	0.56	2	12.2	深	無	
2	2014 3～4	水稻作後 藁無し	I社U深	28	0.13	1	4.9	深	無	2
			Ma・F社D深	34	0.43	2	10.0	深	有	
3	2014 5～6	代かき 排水 1か月後	I社U浅	28	0.09	1	2.3	浅	無	1
			I社U深	28	0.09	1	2.3	深	無	
			I社U浅2	28	0.06	1	2.2	浅	有	
			I社U深2	28	0.06	1	2.2	深	有	

注)1) 耕深の区分は試験区毎に決めたもので、試験番号間では共通していない。

2) 試験 2 の MaF 社 D 深区の上段は事前耕うん時の設定条件を示す。

3) 試験 3 の I 社 U 浅 2 および深 2 における事前耕は畝立て時と同じロータリで実施した。

表 4-3-3 に試験 4～7 の試験区を示した。

試験 4 では、水稻作後圃場において、型式が異なる 2 種のアップカットロータリによる耕うん畝立てが畝表層土壌の物理性とレタス収量に及ぼす影響を明らかにするため、アップカット耕 I 社 U と Ma 社 U、およびダウンカット耕による慣行畝立ての Ma・F

社 D を対照として比較した。

試験 5 では、アップカッターによる耕うん畝立て時の耕深の違い（“浅”，“中”，“深”の 3 水準）が畝表層土壌の物理性とレタス収量に及ぼす影響を明らかにするため、2 種のアップカッター耕 I 社 U と Ma 社 U を供試して比較した。

試験 6, 7 では、アップカッター耕うん畝において、作型の違いがレタス収量に及ぼす影響を明らかにするため、アップカッター耕 I 社 U と対照のダウンカッター耕による慣行畝立ての Ma・F 社 D を供試し、2 月収穫と 3 月収穫で比較した。

各試験ともマルチ敷設とマルチフィルム上への培土作業ならびに移植作業は手作業とした。使用したマルチフィルムは光分解性の厚さ 0.01mm，幅 1.35m の無孔黒色ポリ製で、培土はトップマルチ（天場マルチ）法とした。

レタス栽培における耕種概要は、品種は「シスコ」で、栽植様式は 1 畝 4 条の条間 30cm，株間 35cm とした。肥培管理，病虫害防除は香川県主要野菜栽培指針⁽¹⁾によった。また，施肥法は耕うん畝立て前に有機質入り A 肥料を全面全層に施用し，さらに畝立て後の畝表面に有機質入り B 肥料を施要する方法とした。また，レタス苗の移植直後には株元に十分な灌水を行った。各試験区の移植日とトンネル掛け日および収穫日は表 4-3-3 に示した。

表 4-3-3 アップカッター耕による畝表層土壌の物理性とレタス収量調査の試験区分

試験番号	実施年(年.月)	供試圃場	区分	装着トラクタ出力(kW)	作業速度(m/s)	畝立て PTO 設定	耕うんピッチ(cm)	耕深	事前耕の有無	反復回数	移植日	トンネル掛け日	収穫日
4	2012.10 ~2013.1	水稻作後 藁無し	I社U深	28	0.20	1	7.5	深	無	3	10/16	11/20	1/23
			Ma社U深	34	0.19	1	5.9	深	無				
			I・F社D深	18	0.14	2	4.6	深	有				
5	2012.10 ~2013.2	水稻作後 藁無し	I社U浅	28	0.20	1	7.5	浅	無	1	10/29	11/20	2/6
			I社U中	28	0.20	1	7.5	中	無				
			I社U深	28	0.20	1	7.5	深	無				
			Ma社U浅	34	0.19	1	5.9	浅	無				
			Ma社U中	34	0.19	1	5.9	中	無				
Ma社U深	34	0.19	1	5.9	深	無							
6	2013.10 ~2014.2	水稻作後 藁無し	I社U浅	28	0.17	1	6.4	浅	無	2	10/21	12/2	2/3
			I社U深	28	0.17	1	6.4	深	無				
			Ma・F社D浅	34	0.16	2	3.7	浅	有				
			Ma・F社D深	7	0.10	一定	4.9	深	有				
7	2013.11 ~2014.3	水稻作後 藁無し	I社U浅	28	0.17	1	6.4	浅	無	2	11/11	11/28	3/4
			I社U深	28	0.17	1	6.4	深	無				
			Ma・F社	34	0.16	2	3.7	浅	有				
			D浅	7	0.10	一定	4.9	浅	有				
			Ma・F社D深	34	0.16	2	3.7	深	有				
				7	0.10	一定	4.9						

注) 1) 耕深の区分は試験区毎に決めたもので、試験区間では共通していない。

2) 試験 6, 7 の Ma・F 社 D における上段は事前耕うん時の設定条件を示す。

3) 供試品種は「シスコ」。畝幅 1.8m で 1 畝 4 条栽培とし、マルチ・トンネル栽培とした。

2.3 調査項目

耕うん畝立て前の土壌条件として深さ 0～15cm で三相分布（大起理化製：DIK-1130-02A）と乾量基準の土壌水分を測定し、耕うん畝立て時は作業速度を調査した。耕うん畝立て後は耕深、畝高、三相分布、畝表層の碎土率を調査した。ここで耕深は未耕うん部表面から耕うん底までの高低差とし、畝高は畝の表面から耕うん底までの高低差とした。これらは測量用のレベルを用いて測定した。碎土率は畝表面の深さ 0～5cm の土壌を 30cm 枠で採取し、目あい 10mm のふるいに掛け、ふるいを通じた土壌の質量割合で示した。また、土壌物理性と地温の関係を検討するため、ここで得られた三相分布から体積熱容量⁽²⁾を得た。

土壌水分の推移は深さ 10cm の位置をテンシオメータ（大起理化製：DIK-3150-02A、深さ 10cm 仕様）で、地温は深さ 5cm の位置をデータロガー（T&D 製：TR-71U、温度センサ：TR-1220：長さ 185mm ステンレス保護管付き）で各々試験区の区分毎に 2～4 点ずつ測定した。地温は 10 分ごとに測定し、測定期間を通じて 1 日の正時毎に平均した値から最高地温、最低地温、平均地温を得た。土壌水分の推移と地温の測定位置は畝天幅 1.4m の中央部から 0.35m 横の位置とし、測定期間はレタス栽培の無い試験 1～3 で 21～38 日間、レタス栽培が有る試験 4～7 ではレタス苗移植後からトンネル掛けまでの 12～39 日間とした。なお、試験 1～3 では、体積熱容量と畝表層の深さ 0～5cm と 5～10cm における 1 日の最高地温と最低地温の格差から深さ 0～5cm における熱伝導率を算出した⁽³⁾。

試験 4～7 のレタス収量調査は 1 畝 4 条栽培の中央 2 条について各々試験区の細区分毎に 64～72 個体の全重と球重を測定した。

3. 結果および考察

3.1 畝表層土壌の物理性調査の結果

表 4-3-4、5 に畝立て方法と畝表層土壌の物理性の調査結果を示した。

畝高は、全般に耕うん畝立ての方法が同じであれば耕深が大きい場合で高くなった。また、アップカット耕の機種別にみた畝高（試験 5）は、耕深が同程度であっても Ma 社 U ではリヤカバーが自重とリヤカバー押さえばねによって畝天場が軽く鎮圧されるのに対して、I 社 U はリヤカバーが固定されてその後部のフラップによって畝天場を強制的に成形するため、I 社 U で低くなった。なお、アップカット耕 I 社 U のフラップ位置が畝立て精度に及ぼす影響について事前耕うんのない水稻跡圃場で調査した結果⁽⁴⁾に

よると、フラップ位置が高いと耕深は大きくなって畝高は高くなる傾向があること、逆に、フラップ位置が低いと畝高は低くなりロータリ内の耕うん土量が多くなって碎土率は高くなるが、低すぎると耕うん負荷が大きくなり碎土率が低下して畝立て精度も低下することが明らかになっており、畝立て精度の確保にはフラップ位置の適切な調整が重要であった。同様な理由で、ダウンカット耕による慣行畝立て法の専用畝立て機でも畝成型板により強制的に畝成形するため事前耕うんの耕深が大きくても畝高は一定の高さ（調整可能）になる傾向であった。

畝表層 0～5cm の土壌水分は、耕深の関係（試験 1）において、アップカット耕では耕深が大きい場合で低かったが、ダウンカット耕では逆に耕深が大きい場合に高くなる傾向であった。

畝表層 0～5cm の碎土率は、アップカット耕とダウンカット耕の比較（試験 1, 5, 6, 7）において、アップカット耕では耕深が大きい場合に高くなったが、ダウンカット耕や慣行畝立てでは逆に低くなる傾向であった。また、同程度の作業速度と耕深であれば碎土率はアップカット耕がダウンカット耕や慣行畝立て法より高く、第 1 節の結果や既知の報告⁵⁾と同様であった。アップカット耕の機種別にみた碎土率（試験 5）は、作業速度と耕深が同程度であればほぼ同じになった。また、アップカット耕の事前耕うんの有無の影響（試験 3）は、事前耕うんの有る場合が無い場合より 4～15%高かった。

畝表層 0～5cm の三相分布における固相率は、耕深との関係（試験 1, 2, 3）において、耕うん畝立て法に関係なく耕深が大きい場合に高い傾向であった。これはリヤカバーによる鎮圧の影響と考えられ、耕深が大きいほど鎮圧力が大きくなるためと考えられた。また、アップカット耕とダウンカット耕や慣行畝立て法との比較（試験 1, 2）では耕深が同じ程度であればアップカット耕の場合が低い傾向であった。さらに、事前耕うんの有無の影響（試験 3）は、事前耕うん有りでも低くなった。これは碎土率の影響が考えられ、碎土率が高いと固相率は低くなる傾向であった。なお、アップカット耕 I 社 U は成型板による畝成形であるため、耕深が固相率に及ぼす影響（試験 3）は少なくなったものと考えられた。

土壌の三相分布から求めた畝表層 0～5cm の体積熱容量（試験 1, 2, 3）は、全体に土壌水分が高く固相率が高い場合に大きくなった。アップカット耕とダウンカット耕の比較（試験 1）では、碎土率が高く固相率の小さいアップカット耕で小さい傾向であった。慣行畝立て法との比較（試験 2）ではアップカット耕 I 社 U が慣行畝立て法の Ma・F 社 D より碎土率は高く固相率は低かったが体積熱容量は大きかった。これは I 社 U 区

の畝表層土壌水分が高かったことが原因していると考えられ、畝立て法の差異によるものではなく供試圃場に起因するものと思われた。事前耕うんの有無の影響(試験3)は、事前耕うん有りで碎土率が高く固相率が低いにもかかわらず体積熱容量は大きかった。これは、事前耕うん後の降雨の影響で事前耕うん有り区の土壌水分が高くなったためと考えられた。なお、対照区の未耕地における体積熱容量は耕うん畝立て区の1.6~3.7倍と大きかった。

以上の結果、アップカット耕における畝立て後の土壌物理性は、耕深が大きい場合に表層土壌水分は低くなり、碎土率は高く、体積熱容量は小さくなる傾向であったが、リヤカバーによる畝天場の鎮圧力が大きいと固相率が大きくなり体積熱容量もやや大きくなるものと考えられた。

表 4-3-4 畝立て方法と畝表層土壌の物理性(試験1~3)

試験区 No.	細区分名	土壌水分		速度 (m/s)	耕深 (cm)	畝高 (cm)	0~5cm 碎土率 (%)	0~5cm 固相率 (%)	0~5cm 体積熱容 量 (MJ/m ³ K)
		畝立て 前	畝立て 後						
1	Ma社U浅		29.8	0.14	4.5	10.1	14.7	27.9	1.52
	Ma社U深		22.6	0.14	14.2	24.8	47.7	31.7	1.54
	Ma社D浅	31.3	21.5	0.56	6.2	9.5	20.1	31.1	1.46
	Ma社D深		26.7	0.56	15.7	26.2	11.1	37.4	1.96
	未耕地		-	-	-	-	-	52.9	2.90
2	I社U深		30.4	0.13	14.9	23.1	59.2	27.7	1.72
	Ma・F社D深	27.2		0.43					
	未耕地		28.8	0.10	14.9	23.9	30.9	34.4	1.55
3	I社U浅		14.0	0.09	12.8	18.9	69.0	37.3	1.43
	I社U深		14.2	0.09	13.6	18.5	67.4	38.4	1.46
	I社U浅2	18.2	17.6	0.06	16.8	21.8	84.9	35.5	1.54
	I社U深2		15.5	0.06	17.4	24.1	71.2	34.2	1.42
	未耕地		-	-	-	-	-	56.1	2.13

- 注) 1)土壌水分は、畝立て前は深さ0~15cm,畝立て後は0~5cmのもので、乾量基準で示した。
 2)体積熱容量は三相値と比熱 MJ/(kg・K)(土 0.84,水 4.2,空気 1.0)および密度 Mg/m³(土 2.7,水 1.0,空気 0.0012)との積の総和で示した。
 3)試験2のMa・F社Dにおける上段は事前耕うん時の設定条件を示す。
 4)試験区No.3の事前耕のあるI社U浅2とI社U深2では事前耕後の畝立て前日に6.4mmの降雨があった。

表 4-3-5 畝立て方法と畝表層土壌の物理性(試験 4~7)

試験区 No.	細区分名	畝立て前 土壌水分 (d. b%)	速度 (m/s)	耕深 (cm)	畝高 (cm)	0~5cm 碎土率 (%)
4	I社U深	16.3	0.20	14.1	19.7	63.6
	Ma社U深		0.19	15.9	25.1	76.5
	I・F社D深		0.14			
			0.10	13.7	18.4	59.6
5	I社U浅	28.3	0.21	8.2	14.2	48.1
	I社U中		0.21	11.7	19.7	51.1
	I社U深		0.19	13.5	22.0	59.7
	Ma社U浅		0.19	11.3	23.1	54.7
	Ma社U中		0.18	13.2	26.0	58.5
	Ma社U深		0.18	17.3	26.0	61.5
6	I社U浅	34.0	0.17	12.8	19.5	48.2
	I社U深		0.16	14.6	21.2	52.4
	Ma・F社D浅		0.16			
			0.10	11.3	17.7	40.8
	Ma・F社D深		0.16			
			0.10	11.5	19.1	47.5
7	I社U浅	27.0	0.17	12.0	19.5	58.2
	I社U深		0.16	14.7	20.9	69.6
	Ma・F社D浅		0.16			
			0.10	8.5	11.5	49.1
	Ma・F社D深		0.16			
			0.10	10.0	13.9	47.5

注)1)土壌水分は深さ0~15cmのもの。

2)試験4のI・F社Dと試験6,7のMa・F社Dにおける上段は事前耕うん時の設定条件を示す。

3.2 畝立て後の土壌水分推移と地温

表 4-3-6, 7 にテンシオメータで得た pF 値と地温の調査結果を, 図 4-3-2 に地温の推移を示した。

3.2.1 土壌水分の推移

測定期間中の平均 pF 値はマルチ敷設により各試験区内での差は全体的に小さかった。アップカット耕とダウンカット耕や慣行畝立て法との比較における耕深の影響(試験 1, 6)は, 耕深が大きい場合にダウンカット耕や慣行畝立て法では平均 pF 値がやや低くなる傾向であったが, アップカット耕では耕深の影響は認められなかった。また, アップカット耕とダウンカット耕や慣行畝立て法との比較(試験 1, 2, 4, 6)では, アップカット耕がやや高く推移し, 乾いている傾向であった。アップカット耕の機種別にみた平均 pF 値(試験 5)は, I社UとMa社Uでほぼ同等であった。なお, アップカット耕における事前耕うんの有無の影響(試験 3)は, 事前耕うん有の場合がやや低くなったが, これは降雨の影響と考えられた。

以上の結果、マルチ敷設後の畝立て方法別の土壌水分は耕うん畝立て直後における土壌水分と同じ傾向であった。これはマルチ敷設により畝表層への降雨の影響が少なかったためと思われた。

3.2.2 畝表層地温の推移

表 4-3-7 にテンシオメータで得た pF 値と地温の調査結果を、図 4-3-2 に地温の推移を示した。10 分ごとの地温測定値を 1 日の正時毎に平均して得た最高地温と最低地温及び平均地温の地温指標のうち、レタスの葉の分化に必要な最低温度は 10℃で適温は 20℃であることから⁽¹⁾、冬どりレタスの生育に重要な温度は最高地温と考え、以下の検討では最高地温を重視した。

アップカット耕とダウンカット耕の耕深を変えた比較（試験 1）では、最高地温はアップカット耕による場合がダウンカット耕や未耕地より高く、耕深が大きい場合に高い傾向であった。また、アップカット耕と慣行畝立て機の比較（試験 2）でも結果は同様に、アップカット耕が慣行畝立て法より高かった。

アップカット耕における事前耕うんの有無の影響（試験 3）は、事前耕うん有の場合が最高地温は高かった。この場合、事前耕うん有の I 社 U 浅 2 および深 2 は事前耕うん後の降雨により土壌水分がやや高い状態の畝立てであったものの、最高地温は土壌水分が低かった事前耕うん無の場合より高かった。

アップカット耕の機種別にみた畝表層の最高地温（試験 4）は、耕深が I 社 U で Ma 社 U より 2cm 小さく、碎土率も 13%低かったが、I 社 U でやや高かった。

アップカット耕の機種別と耕深の影響をみた（試験 5）でも（試験 4）と同様に全体的には I 社 U が Ma 社 U より高い傾向であったが、Ma 社 U 浅は耕深が小さかったにもかかわらず試験 5 の中で最も高い地温となった。この理由は明らかでなかった。

アップカット耕と慣行畝立て法の比較を異なるレタス作期でみた（試験 6, 7）では、（試験 6）は、アップカット耕の耕深が大きい場合に地温は高く、（試験 4, 5）と同じ傾向であったが、（試験 7）ではアップカット耕と慣行畝立て法は同等であった。これは、（試験 7）では地温の測定期間が 12 日間と短く、しかも降雨日率が 58%と高かったことが影響したものと考えられた。

以上の畝表層地温に対して、外気温は最高温度と最低温度の格差が大きく、かつ、最低外気温は最低地温より大きく低かった。

表 4-3-6 畝表層土壌の水分 pF 値と地温 (試験 1~3)

試験 番号	測定期間 (月/日)	区分	平均 pF値	地温 (°C)			測定期間中の降雨	
				最高	最低	平均	降雨日 率 (%)	総雨量 (mm)
1	2012. 4/10 ~5/1	Ma社U浅	1.3	19.1	13.5	16.1	11/21 (52)	47
		Ma社U深	1.3	20.2	13.7	16.8		
		Ma社D浅	1.3	17.9	14.1	15.9		
		Ma社D深	1.2	18.3	12.8	15.5		
		未耕地	1.2	18.2	13.9	16.0		
		外 気	-	21.8	9.8	15.6		
2	2014. 3/18 ~4/25	I社U深	1.3	18.8	11.2	14.7	14/38 (37)	85
		Ma・F社D深	1.4	17.0	10.8	13.7		
		未耕地	1.2	18.5	11.0	14.5		
		外 気	-	18.5	6.2	12.1		
3	2014. 5/14 ~6/13	I社U浅	1.8	28.1	20.9	24.2	14/30 (47)	61
		I社U深	1.8	27.4	21.1	24.1		
		I社U浅2	1.4	30.4	20.3	25.0		
		I社U深2	1.5	30.6	20.0	24.9		
		未耕地	2.0	26.4	20.3	23.2		
		外 気	-	27.8	15.9	21.5		

- 注) 1) 土壌水分 pF 値は深さ 10cm, 地温は 5cm の測定値. いずれもマルチ敷設畝を対象としたもの.
 2) 地温は 10 分毎の測定値を 1 時間の正時毎に平均し, さらに測定期間を通じて 1 日に平均した値から得たもの.
 3) 外気温は供試圃場内の地上 1m のか所を遮光して測定したもの.
 4) 降雨は試験香川農試内気象観測装置による.
 5) pF 値測定は, 週に 2~3 日の定時に測定したデータを平均して示した.

表 4-3-7 畝表層土壌の水分 pF 値と地温 (試験 4~7)

試験 番号	測定期間 (月/日)	区分名	平均 pF値	地温 (°C)			測定期間中の降雨	
				最高	最低	平均	降雨日 率 (%)	総雨量 (mm)
4	2012. 10/20 ~11/19	I社U深	0.7	17.6	13.4	15.2	10/30 (33)	76
		Ma社U深	0.7	17.3	12.7	14.7		
		I・F社D深	0.7	16.9	13.6	15.1		
		未耕地	0.8	17.3	13.4	14.5		
		外 気	-	17.7	9.8	13.2		
5	2012. 10/31 ~11/22	I社U浅	0.7	15.7	12.1	13.7	8/22 (36)	48
		I社U中	0.7	16.3	11.6	13.6		
		I社U深	0.7	16.7	11.7	13.8		
		Ma社U浅	0.7	17.5	13.0	15.0		
		Ma社U中	0.8	15.5	11.7	13.4		
		Ma社U深	0.8	15.4	11.7	13.4		
		未耕地	0.9	15.8	11.6	13.4		
		外 気	-	16.5	9.1	12.2		
6	2013. 10/23 ~12/1	I社U浅	1.3	16.0	11.5	13.5	12/39 (31)	181
		I社U深	1.3	16.4	11.2	13.4		
		Ma・F社D浅	1.3	15.6	11.5	13.3		
		Ma・F社D深	1.1	15.8	11.8	13.5		
		未耕地	1.5	14.6	11.4	12.9		
		外 気	-	15.9	8.9	11.7		
7	2013. 11/15 ~11/27	I社U浅	-	13.0	7.5	9.9	7/12 (58)	68
		I社U深	1.6	12.9	8.1	10.2		
		Ma・F社D浅	-	-	-	-		
		Ma・F社D深	1.4	13.3	8.8	10.7		
		未耕地	1.4	12.2	9.4	10.8		
		外 気	-	15.8	5.4	9.6		

注) 表 4-3-6 の注書きに準じる.

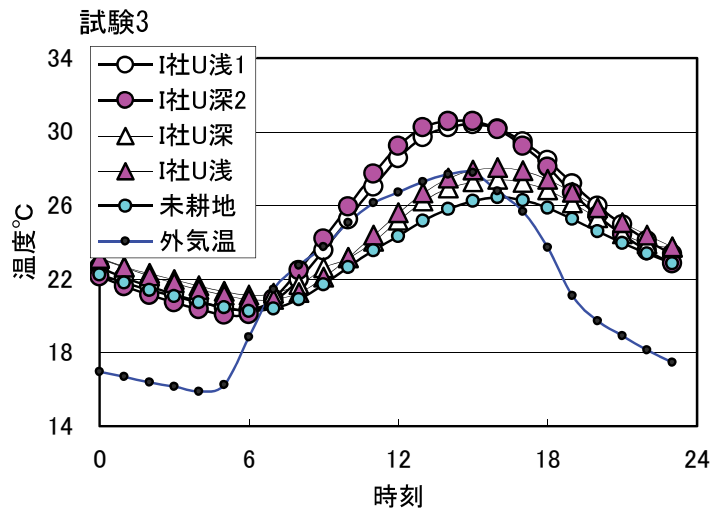
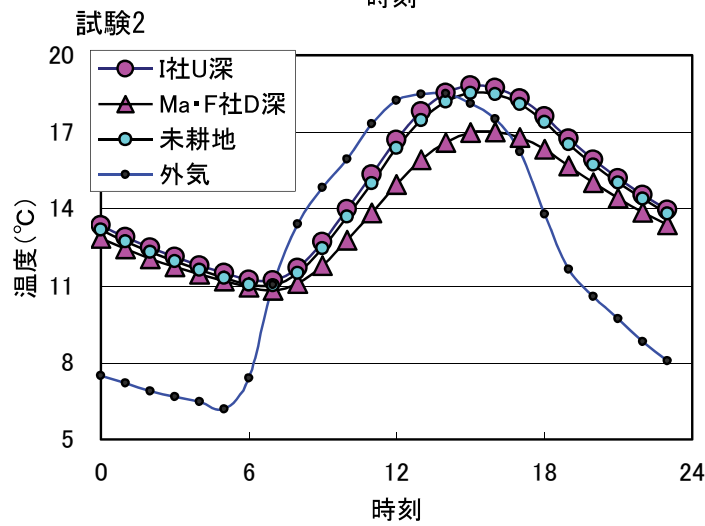
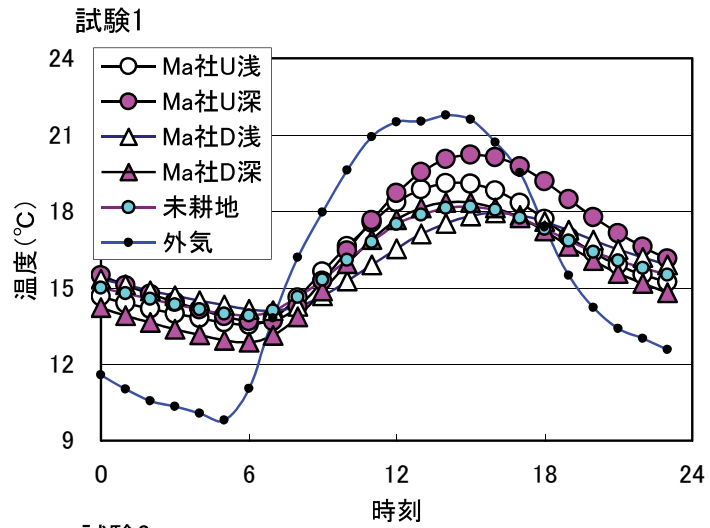


図 4-3-2 試験 1~3 の試験区別地温(深さ5cm)

3.3 レタスの収量

表 4-3-8 に試験 4～7 におけるレタスの収量調査の結果を示した。収量データのうち、レタス球重は市場性の評価において重要な要素であるが、レタス外葉の除去枚数はレタスの収穫時期や外観によって異なり、人為的な要素も入るので本研究ではレタス全重を重視することとした。

アップカット耕と慣行畝立て法の比較（試験 4）では、レタス全重はアップカット耕が慣行畝立て法による場合より重く、有意差が認められたが、同じアップカット耕の I 社 U 深と Ma 社 U 深は同等で有意差が認められなかった。

アップカット耕における機種別の耕深の影響（試験 5）は、機種間の有意差は認められなかったが、耕深別では浅と中および深との間に有意差がみられ、耕深が大きいと全重は高い傾向であった。しかし、Ma 社 U 中と Ma 社 U 深の間には有意差はなかったものの Ma 社 U 深が Ma 社 U 中より低い傾向であった。これは砕土率が高くても耕深が大きくなりすぎると畝断面積当たりの施肥濃度が低下してレタスの収量面にマイナスになることがあるためと考えられた。ちなみに Ma 社 U 中では耕深 13.2 cm，砕土率 58.5% であったのに対して、Ma 社 U 深では耕深 17.3cm と大きく、砕土率 61.5% と高かった。

アップカット耕と慣行畝立て法との比較を耕深別にみたレタス全重（試験 6）は、機種別、耕深別に有意差が認められ、アップカット耕が慣行畝立て法より重く、かつ、耕深が大きい場合に重かった。

表 4-3-8 試験 4～7 のレタス収量調査結果

試験 番号	栽培期間 (年. 月)	区分	全重 (g)	同左有意差			球重 (g)	
				耕うん法	耕深			
4	2012. 10 ～2013. 1	I社U深	667	a			389	
		Ma社U深	651	a	*	-	369	
		I・F社D深	631	b			375	
		I社U浅	538	c		p	336	
5	2012. 10 ～2013. 2	I社U中	630	c		q	407	
		I社U深	666	c	ns	q	**	420
		Ma社U浅	590	c		p		371
		Ma社U中	663	c		q		405
		Ma社U深	611	c		q		400
6	2013. 10 ～2014. 2	I社U浅	715	d		r	422	
		I社U深	766	d	**	s	**	432
		Ma・F社D浅	669	e		r		417
		Ma・F社D深	696	e		s		437
7	2013. 11 ～2014. 3	I社U浅	657	f		t	371	
		I社U深	693	f	ns	t	ns	364
		Ma・F社D浅	669	f		t		364
		Ma・F社D深	676	f		t		400

- 注) 1) 全重の有意差検定は多元配置による分散分析法を用いた。
 2) 各試験区内の同一文字間には有意差はない。
 3) Tukey の多重検定により、*は 5%水準、**は 1%水準で有意差有り。

同じ耕うん畝立て条件で異なる作期（試験 7）では，レタス全重はアップカット耕と慣行畝立て法の比較において有意差は認められなかった．また，耕深の影響にも有意差は認められなかった．これは前述のとおり，移植からトンネル掛けまでの期間が短く，降雨日率が高かったため地温の差が少なく，初期成育に及ぼす影響が小さくなったためと考えられた．

3.4 畝表層土壌の地温上昇と体積熱容量および熱伝導率

地温上昇の要因を物理量で示す指標として，土壌の体積熱容量と熱伝導率を検討した．畝表層 0～5cm のそれら物理量が地温に及ぼす影響を検討するにはそれよりも下層の 5～10cm の土壌三相値や地温データが必要であり，0～5cm の結果と併せて表 4-3-9，図 4-3-3 に示した．これらから算出した体積熱容量と熱伝導率を図 4-3-4 に示した．

表 4-3-9 試験 1 における畝表層土壌の深さ別三相値と地温

区分	測定か所(cm)	砕土率 (%)	三相値 (%)			地温 (°C)		
			固相	液相	気相	最高	最低	格差
Ma社U浅	0～5	14.7	27.9	21.1	50.9	19.1	13.5	5.6
Ma社U深		47.7	31.7	19.6	48.7	20.2	13.7	6.5
Ma社D浅		20.1	31.1	18.1	50.8	17.9	14.1	3.8
Ma社D深		11.1	37.4	26.6	35.9	18.3	12.8	5.5
未耕地		-	52.9	40.7	6.4	18.2	13.9	4.3
Ma社U浅	5～10	20.7	27.6	22.7	49.7	16.9	14.4	2.5
Ma社U深		34.1	35.7	27.4	36.9	18.2	14.5	3.7
Ma社D浅		29.1	34.6	36.4	29.1	16.6	14.3	2.3
Ma社D深		22.0	34.2	26.7	39.2	16.3	13.8	2.5
未耕地		-	50.2	44.1	5.7	16.7	14.2	2.5

注) 1) 地温は 5cm と 10cm のか所で各 3 点を測定し平均値で示した．

2) 砕土率と三相値は畝立て直後．地温測定期間は表 4-3-6 に準じる．

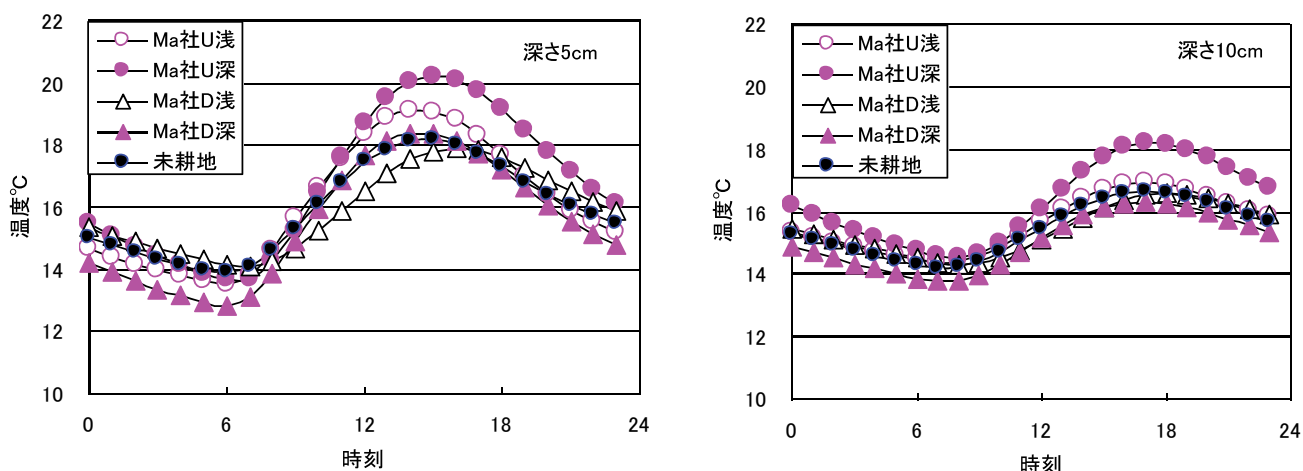


図 4-3-3 試験 1 における畝表層深さ別の地温

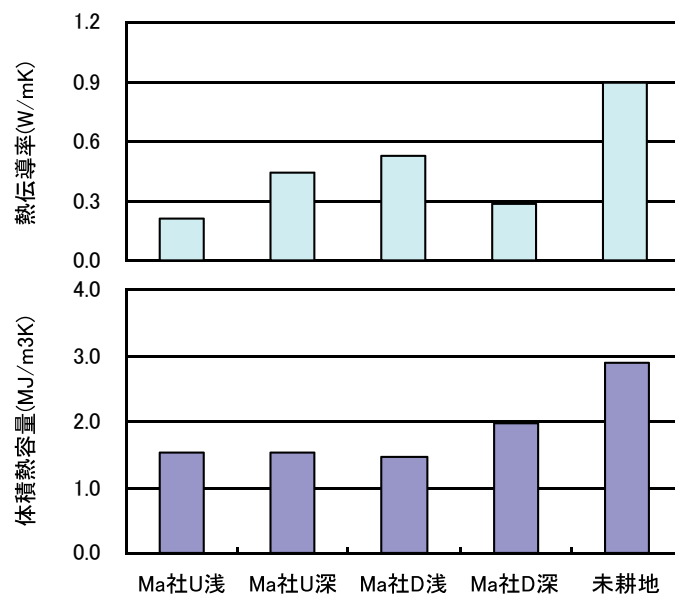


図4-3-4 試験1の畝表層0～5cmにおける
土壌の体積熱容量と熱伝導率

図 4-3-4 において、畝表層 0～5cm の体積熱容量は未耕地が 2.9MJ/m³K と高く、次いで Ma 社 D 深 2.0MJ/m³K, Ma 社 U 浅と Ma 社 U 深および Ma 社 D 浅は同程度で 1.5MJ/m³K であった（この試験では供試機がすべて Ma 社なので以下、Ma 社は除いて示す）。また、熱伝導率は未耕地が 0.90 W/mK と高く、次いで D 浅 0.52W/mK, U 深 0.44W/mK, D 深 0.29 W/mK, U 浅 0.21W/mK となった。

深さ 5cm の最高地温は、U 深>U 浅>D 深=未耕地>D 浅の順で高く、深さ 10cm の最高地温は U 深>U 浅>未耕地≧D 深=D 浅の順で高かった。これら畝立て方法別の最高地温の傾向と体積熱容量や熱伝導率の関係をみると、特に最高地温が高かった U 深の体積熱容量と熱伝導率は他の試験区に比べて大きく異なる値ではなく、U 浅や U 深、D 浅の体積熱容量は同程度の値で、熱伝導率は差があったものの最高地温との関係には一定の傾向はみられなかった。ただし、未耕地では体積熱容量や熱伝導率は高かったが、最高地温は低かった。この理由について Hartge⁽⁶⁾は、表層の体積熱容量が大きくて地温上昇が少ない場合は下層との温度勾配が小さく、結果として熱伝導率が高くても地温に及ぼす影響は少ないとしており、この記述のとおりと考えられた。

ウィリアム・ジュリーとローバート・ホートン⁽³⁾によると、体積熱容量が大きいと最高最低地温の格差は小さく、逆に体積熱容量が小さいと格差は大きくなる。また、熱伝導率は土壌の乾燥密度や体積含水率が高いと大きな値となる。熱伝導率が大きいと表層に

吸収された熱が昼間は容易に下層へ伝導され、夜間は逆に下層から表層へ伝導されることになる。さらに、Hartge⁽⁶⁾は、体積熱容量や熱伝導率が小さいと昼間は表層において熱の停滞が生じ下層への熱伝導が少なく、かつ、夜間は熱放射が大きくなって熱エネルギーの大半が失われるとしている。これらの記述と本研究によって得られた地温と体積熱容量および熱伝導率の関係については、部分的には一致したものの全体的には整合性をみいだせなかった。

この理由として、本研究はマルチ敷設の畝を対象としたものであるため、例えば、畝表面における夜間の熱放射は畝立て方法の影響が少なかったと考えられることや畝表層土壌の三相調査に用いた採土缶の容量 100ml は耕うん土壌を対象とするには容量が小さくて、土塊径の大きいダウンカット耕の土壌評価には適さないように思われたことなどが挙げられた。

それでも、最高地温が最も高くなった U 深においては最低地温との格差が他よりも大きくなっていったことやアップカット耕による畝はダウンカット耕に比べて碎土率が高く、かつ土壌水分が低く維持されていたことを勘案すると、U 深では体積熱容量が低くかつ熱伝導率も低い傾向であると考えられた。

4. まとめ

片岡ら^(7,8)は深耕アップカット耕を畑地の大豆、トウモロコシ、大根に適用し、増収効果を確認しており、細川^(9,10,11)は重粘土地帯の大豆とキャベツに適用し、安定した増収効果を得た。その増収の要因はいずれも碎土率の向上による適度な保水性の確保にあるとしている。

本研究では、アップカット耕による畝立てマルチ敷設下の畝表層において、ダウンカット耕や慣行畝立て法と土壌物理性を比較した結果、碎土率の向上とそれによる適度な保水性の確保に併せて畝表層の地温がダウンカット耕より高くなる傾向が確認され、それらは冬どりレタスの収量性向上に繋がっていることを確認した。

今後の課題としては後藤ら^(12,13)が試みたように汎用のアップカットロータリを耕うん畝立て用に専用化することや、耕うん所要動力の低減⁽⁴⁾を図ることなどが必要であると考えられた。

第IV章・第3節の参考文献

- (1)香川県主要野菜栽培指針，2002，レタスの栽培，香川県，275～302
- (2)土壌物理性測定法委員会，1978，土壌物理性測定法，p.278-303，養賢堂，東京
- (3)ウイリアム-ジュリー・ローバート-ホートン，取出伸夫監訳，2006，土壌物理学，築地書房，東京，p.174-198
- (4)山浦浩二・西村融典，2016，小径爪を利用した低動力化アップカッターによる耕うん畝立てと冬どりレタスの収量，農業生産技術管理学会誌，22(4)，111～119
- (5)森本圀夫・三浦恭志郎・八木 茂・唐橋 需，1983，レーキ付きアップカッターの作業性能，農業機械学会誌，45(3)：375-378
- (6)K.H.Hartge・福士定雄訳，1985，土壌物理学概論，大洋社，東京，p.227～248
- (7)片岡 崇・小野寺一宏・太田義信・千田広幸・八橋米太郎，1994，耕深アップカッター耕転の作物成育への効果Ⅰ－1993年度の生育及び収量調査結果－，岩手大農報 22(1)，7～14
- (8)片岡 崇・生内 修・太田義信・千田広幸・八橋米太郎，1995，耕深アップカッター耕転の作物成育への効果Ⅱ－天候の影響を考慮した生育及び収量調査－，岩手大農報 22(3)，131～140
- (9)細川 寿，2000，北陸重粘土転換畑への野菜導入，農業技術 55(11)，493～497
- (10)細川 寿，2004，大豆の耕うん同時畝立て作業機による重粘土転換畑の湿害回避技術，農業機械学会誌，66(5)，14～16
- (11)細川 寿，2005，湿害回避のための大豆耕うん同時畝立て作業技術，農業技術，60(6)，254～257
- (12)後藤隆志・藤井清信・山内敏雄・藤岡澄行，1989，耕うん碎土・施肥播種同時作業機の開発改良研究（第2報）－部分耕・施肥播種同時作業機の特性－，機械化研究所研究報告，23，1～34
- (13)後藤隆志・堀尾光広・市川友彦・小林智夫・長尾克成・久慈良治，2006，水田耕うん整地用機械の高速化に関する開発研究，機械化研究所研究報告，34，1～107

第V章 総合考察

本研究の目的は、香川県下の冬どりレタス栽培に適合する機械・装置の開発を行い、栽培の省力化と軽作業化を図ろうとしたものである。ここでは本研究で開発した半自動多条移植機とトンネル支柱打ち込み装置、アップカット耕うん畝立て施肥マルチ敷設機による3つの機械化技術と既存の技術を組み合わせた新作業体系によるレタス生産時間を慣行作業体系と比較検討した。

図5-1に1～3月どりのレタス生産に要する延べ労働時間を示した。

本図は、第I章に示した「図1-5 香川県産レタスの収穫時期別の10a当たり延べ労働時間」のデータに第II章の半自動多条移植機、第III章の支柱打ち込み装置、第IV章のアップカット耕うん畝立て施肥マルチ敷設機の作業能率に関するデータを加えたものである。図中の「低機化」は半自動多条移植機、軽量型トンネル支柱打ち込み装置、アップカット耕うん畝立て施肥マルチ敷設機（枕地処理に“Zターン”を利用する）を利用し、「高機化」は灌水機能付きの半自動多条移植機、全自動支柱打ち込み装置、アップカット耕うん畝立て施肥マルチ敷設機（枕地を無栽培とする）を利用するとしたものである。また、「支援」は育苗と調製包装出荷にJAの作業支援を利用するとしたものである。

慣行作業体系の延べ労働時間は219人時/10aであったのに対して、「低機化」212人時/10a（96.8%）、「高機化」205人時/10a（93.6%）、「支援慣行」141人時/10a（64.4%）、「支援高機化」130人時/10a（59.4%）となり、本研究による労働時間の短縮効果は3～6%と小さかった。しかしながら、第II章の半自動多条移植機と第III章の支柱打ち込み装置は作業姿勢の改善による軽作業化に効果が高く、第IV章のアップカット耕による耕うん耕畝立て施肥マルチ敷設機は機械化移植における移植精度の向上やレタスの増収に効果が認められた。よって、手作業中心の慣行作業体系に対する機械化の初期段階としては一部目的を達成したものと考えられた。

本研究に関連して今後の課題としては、移植作業関連では簡易性を維持した走行部の自走化が考えられた。また、トンネル設置作業関連ではトンネル被覆フィルムの展張やその紐止め⁽¹⁾、換気作業の省力化⁽²⁾が考えられた。また、畝立て作業関連では水稲後作でのアップカット耕を前提とした低動力形⁽³⁾の畝立てロータリへの専用化が考えられた。

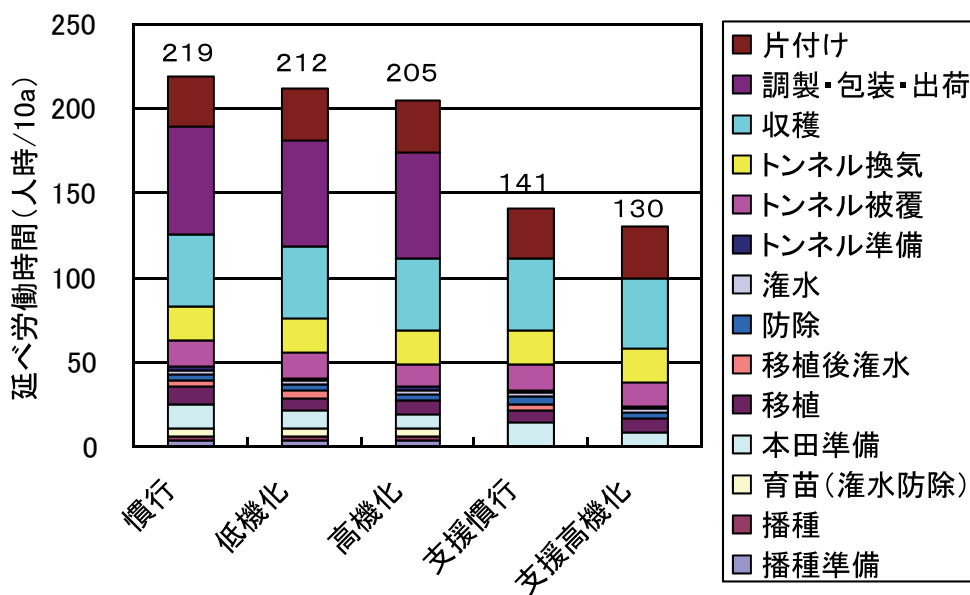


図 5-1 1～3 月どりのレタス生産に要する延べ労働時間

- 注) 1) 「低機化」は半自動多条移植機と軽量トンネル支柱打込み装置、アップカット耕うん畝立て施肥マルチ敷設機（枕地処理に 2 ターン利用）を利用。
- 2) 「高機化」は灌水機能付き半自動多条移植機と全自動支柱打込み装置、アップカット耕うん畝立て施肥マルチ敷設機（枕地旋回部を無栽培とする）を利用。
- 3) 「支援」は育苗と調製包装出荷に JA の作業支援を利用。

第 V 章の参考文献

- (1)山浦浩二・西村融典・道久忠孝・山岡利明・久保昭二，2014，自走式トンネル紐止め用ペグ打ち機，近畿中国四国農業研究主要成果
- (2)山浦浩二・西村融典，2016，小径爪を利用した低動力化アップカットロータリによる耕うん畝立てと冬どりレタスの収量，農業生産技術管理学会誌，22(4)，111～119
- (3)山浦浩二・白井英治，2011，レタス栽培用トンネルの簡易自動換気装置の開発と利用法，香川農試研究報告，第 62 号，23～30

第VI章 結論

1～3月の冬どり出荷を特徴とする香川県内のレタス栽培において、基幹的農業者の高齢化や減少により産地が衰退して行くことへの対策として作業の省力化と軽作業化を目的に機械・装置の開発を含む3つの技術開発研究を行った。その1は半自動多条移植機の開発であり、2つはトンネル支柱打込み装置の開発である。そして3つはアップカットロータリ耕うん畝立て施肥マルチ敷設機の開発である。以下に本研究の内容と結果を総括して述べる。

1. 第I章では、香川県におけるレタス生産の現状と作業技術面における課題について述べ、優先的に取り組む3つ研究課題を対象に慣行作業法や既往の研究成果を概説しつつ、市販機械・装置の香川県内への適用試験の結果を交えて新たに開発すべき機械・装置を示し、本論文の目的と構成について述べた。

2. 第II章では、試作した半自動移植機の移植ユニットについて構造と特徴を述べ、その利用方法別に試作した2種の試作機の性能を明らかにした。また、移植同時灌水作業のための灌水ユニットを試作移植機に搭載して機能の向上を図るとともに、移植精度の向上のため移植ユニットを改良し、その効果を明らかにした。

2.1 第1節 半自動多条移植機の開発

(i)移植カップ、ヒンジ・レバークラッチ、フック、苗投入筒等からなる移植ユニットを開発した。本ユニットの苗供給は人力による半自動式で、畝表面の凹凸に対応して植付け深を一定にできる仕組みである。本ユニットの利用数は1畝当たりのレタス栽培条数に応じた数とし、軽量の台車等に取り付けて利用する。

(ii)1畝4条のレタス栽培に適用するため、移植ユニット4基をエンジン駆動の自走式畝間走行台車に搭載した試作1号機と手押し式畝間走行台車に搭載した試作2号機を開発した。

(iii)上記2機種は、台車停止中に移植を行う間欠式で、条間は3条で27cm、4条で30cm、株間は自動間欠走行（試作1号機）や簡易なマーカによって位置決めする方式（試作2号機）である。

(iv)性能試験の結果、両機種の移植精度はほぼ同等で、作業能率は試作1号機が試作2号機よりやや高かった。しかし、操作性や製造価格の点で実用性は試作2号機で高い

と判断された。

(v)試作 2 号機は輪距を 1,300~1,800mm で調整でき、全長 1,550mm、全幅 1,720~2,020mm、全高 1,020mm、全質量 55kg である。また、軽トラックにもブリッジ無しで積載でき、後輪 2 輪による枕地での旋回が可能で、圃場への出入りも容易であった。

(vi)条間 30cm、株間 35cm で無孔マルチフィルム利用における 1 畝 4 条レタスの試作 2 号機による移植精度は、正常植率 93.4%と安定しており、良苗の選択移植が可能であった。

(vii)上記の移植作業能率は 2 人作業で 4.0h/10a となり、手植え作業の 1.4 倍程度であった。また、手植えに比べ作業姿勢が改善でき、軽作業化に有効であった。

2.2 第 2 節 移植同時灌水技術の開発

(i)11 月移植、2 月収穫の冬どりレタスにおいて、移植直後の灌水量とレタス収量の関係を栽培試験で調査したところ、移植直前の苗浸漬に関係なく灌水量を 50ml/株とすればレタス収量は確保できた。

(ii)移植同時灌水ユニットは電磁バルブ、タイマースイッチ、逆止弁、ノズルで構成され、質量は 4kg である。これを試作 2 号機の移植機に搭載し、圃場外に定置した水タンクと動力噴霧機からの送水を受けて利用する。

(iii)上記の構成でのレタス苗 1 株当たり灌水時間は、移植機の移植カップが苗を分離して上昇に転じてから次行程の初期位置に達するまでの 2.0 秒間であった。動力噴霧機の設定圧 2.0MPa、送水ホース内径 8.5mm、同長さ 100m、4 条移植の場合、2.0 秒間の灌水量は 76ml/株であった。

(iv)移植同時灌水作業を実施したところ、圃場内作業を対象とした移植作業時間は 2.0% 増加したが、灌水作業を単独で行う場合の 3.8 人時/10a を省くことができた。

2.3 第 3 節 レタス用半自動多条移植機における移植ユニットの改良と性能調査

(i)レタス移植時に生じる転び苗などの植付けミスを低減するため、移植ユニットを改良した。その 1 点目は、移植部ヒンジ・レバークラッチのヒンジ点を“くの字”状としたこと、2 点目は、移植カップの開閉にもヒンジ・レバーを用いたことである。

(ii)万能試験機により移植カップの土中降下距離その反力を調査したところ、移植深さの設定が同じ場合、改良ユニットは標準ユニットより畝面押さえ板が土表面高さを感知しやすく、移植に要する力も小さかった。

(iii)圃場試験により移植精度を調査したところ、畝面硬度 22.7 kPa および 48.1 kPa、砕土率 61.8 %、表層 0~5 cm の土壌水分 29.1 % (d.b.) の条件で、改良ユニットの

正常植え率は 98.8～100 %で、標準ユニットの 66.3～98.8 %より高く、移植深さも安定した。

3. 第Ⅲ章では、レタスのトンネル栽培における支柱設置作業にグラスファイバー製支柱を対象とする全自動支柱トンネル支柱打込み装置とU字型鋼管製支柱を対象とする軽量型トンネル支柱打込み装置を開発し、性能を明らかにした。

3.1 第1節 全自動トンネル支柱打込み装置の開発

(i)試作した全自動支柱打込み装置は、輪距を調整できるエンジン駆動のクローラ式畝間走行台車に支柱タンク、支柱繰出し部、支柱打込み部、制御・発電部を搭載したもので、全長 2,230mm、全幅 1,510～2,470mm、全高 1,190mm、全質量 520kg である。

(ii)本機は畝幅 1.6～1.8m、3～4 条植え高畝広幅のレタス栽培に利用でき、打ち込みの対象支柱は長さ 1.8～2.4m、断面直径 7.5～9.0mm のグラスファイバー製で、支柱を 1 本ずつ自動で繰り出して畝に等間隔で打込むことができる。

(iii)作業は後進方向で、走行台車が所定間隔で自動間欠走行する間に支柱を打込む方式である。

(iv)幅 1.8m のレタス畝に対する作業能率は、作業速度 0.20m/s において、0.9h/10a であり、打込みミスは 1.7%みられたものの、斉一な打込み状況となり実用性が認められた。

3.2 第2節 軽量型トンネル支柱打込み装置の開発

(i)試作した軽量型トンネル支柱打込み装置は、手押し式の畝間走行台車に電動油圧シリンダで作動する打込み部を搭載したもので、全長 1,240mm、全幅 1,850mm、全高 1,320～1,500mm、全質量 99.0kg である。

(ii)打ち込みの対象支柱は主としてU字型鋼管製で、人力により支柱を装填する半自動方式の支柱打込み装置である。

(iii)本機は畝幅 1.8m、4 条植え高畝広幅のレタス栽培に利用でき、適合する支柱は主としてU字型鋼管製で長さ 2.1～2.4m、直径 11mm、間口 1.4～1.6m である。

(iv)作業能率は 2 人作業で 3.0h/10a となり台車を使った慣行手作業に比べて低かったものの、畝溝が乾いていて台車走行が容易な条件であれば 1 人作業が可能で、延べ作業時間は慣行手作業の 71.4 ～83.3%に短縮された。

(v)支柱の打込み精度は慣行手作業より優れた。また、心拍数増加率で見た作業強度は“軽作業”に区分され、特に、作業姿勢が改善できて軽作業化に有効であった。

4. 第IV章では、畝立て作業の省力化と移植作業の精度向上のため、アップカットロータリによる耕うん同時畝立て施肥マルチ敷設機を開発し、その性能とレタスの生育収量への影響を明らかにした。また、試作機利用畝における畝表層土壌の物理性が表層地温やレタスの生育収量に及ぼす影響を明らかにした。

4.1 第1節 アップカット耕うん畝立て施肥マルチ敷設機による畝立てとレタス栽培

(i)省力化と畝立て精度の向上を目的として試作したアップカット耕うん畝立て施肥マルチ敷設機は、ロータリ部は作業幅 1.8m のダウカットロータリをベースにアップカット化したもので、ロータリカバー前部にゴムダレ、後部にレーキを装着し、あわせて畝成型板と前尾輪、施肥機、マルチ敷設機を組み合わせたものである。

(ii)試作機利用畝は既存の畝立て機や一輪管理機による畝に比べて畝表層部の碎土率が高く、夾雑物の鋤込み性に優れ、機械化移植におけるレタス苗移植精度の確保に有効であった。

(iii)畝立てと同時にロータリ前部に散布した肥料の畝内分布は、畝横断方向には中央部分がやや高くダウンカット耕と同等であったが畝縦方向には浅く分布した。

(iv)試作機利用畝は、降雨後の土壌水分が慣行法の畝より低く推移し、排水性に優れる傾向であった。また、畝中央部の深さ 10cm の地温は、試作機利用畝が慣行法の畝よりやや高い傾向であった。

(v)レタス収量は、試作機利用畝が慣行法の畝より優れる傾向であった。しかし、降雨による畝溝への停滞水がみられると、慣行法の畝より減収率が大きかった。このため、試作機利用畝では排水対策の徹底が重要であると思われた。

(vi)試作機に適合するトラクタ出力は、水稻後圃場で作業速度 0.2~0.3m/s、PTO 出力軸回転数設定“1”での利用を前提に、30kW 程度以上を要すると考えられた。

4.2 第2節 アップカット耕うん畝立て施肥マルチ敷設機による畝立て作業の作業能率

(i)第1節で開発した試作機に2種の肥料の同時施肥を可能とする施肥機を搭載して市販化したアップカット耕うん畝立て施肥マルチ敷設機を 34kW のトラクタに直装して農家圃場で試験し、作業能率を明らかにした。また、狭小圃場の多い香川県内における当該機の利用拡大のため、枕地での旋回時間を短縮する旋回方法として“Zターン”を検討し、その有効性を明らかにした。

(ii)上記の耕うん畝立て施肥マルチ敷設機による畝立てと1回の事前耕うんおよびマルチ上への培土作業を含めた新体系の延べ作業時間は 3.3h/10a 人時であった。一方、既存の小型畝立て施肥マルチ敷設機を中心とした慣行体系では 5.4h/10a 人時で、新体系

では 39%の時間短縮が図れた。

(iii)この時間短縮の要因は、主にアップカットロータリの利用により事前耕うん回数を低減できたことによるものであった。

(iv)枕地での旋回法を“Z ターン”とした畝立て延べ作業時間は慣行法より 13%短縮した。また、枕地を畝立てせずは無処理とする旋回方法では、レタスの栽培面積は減少するものの慣行法に比べて 38%短縮した。

(v) “Z ターン”で枕地処理時間が短縮できた理由は、枕地でのトラクタ旋回跡の手均し作業距離（作業量）が慣行法より短いためであった。

4.3 第 3 節 アップカット耕による畝立てが地温と冬どりレタスの収量に及ぼす影響

(i)アップカット耕うん畝立て後のマルチ敷設畝において、第 1 節で見いだされた畝表層の地温がダウンカット耕の場合に比べて高くなる傾向が本節でも確認された。

(ii)その要因を詳しく調査したところ、アップカット耕がダウンカット耕より畝表層の碎土性に優れていることが影響していると考えられた。また、地温が高いことはレタスの収量性向上に繋がったと考えられた。

(iii)畝表層土壌の物理性と地温の関係を明らかにするため、体積熱容量と熱伝導率を調査したところ、アップカット耕はダウンカット耕よりも体積熱容量が低い傾向を認めしたが熱伝導率は明確な差を認めなかった。

(iv) それでも、アップカット耕による畝ではダウンカット耕に比べて最高地温が高く、かつ、最低地温との格差が大きかったこと、ならびに碎土率が高く、土壤水分が低く保たことを勘案すると、体積熱容量や熱伝導率は低い傾向であると考えられた。

5. 第 V 章では、本研究で開発した 3 つの機械装置を組み入れた新作業体系によるレタス栽培の労働時間を検討するとともに成果を総合的にまとめた。

(i)1～3 月の冬どりレタス栽培における延べ作業時間は、慣行体系 219 人時/10a に対して、灌水装置付き半自動多条移植機と全自動支柱打込み装置、アップカット耕うん畝立て施肥マルチ敷設機（枕地栽培を伴わない場合）の利用では 205 人時/10a（93.6%）となり、作業時間の短縮効果は 6%と小さかった。

(ii)上記のとおり、本研究により得られた作業能率の向上効果は小さかったが、半自動多条移植機と支柱打込み装置は軽作業化に効果があり、アップカット耕による耕畝立て施肥マルチ敷設機は移植機による移植精度の向上やレタスの増収に効果が認められた。

謝辞

本論文の取りまとめに際し、鳥取大学農学部教授猪迫耕二博士、准教授野波和好博士、には論文執筆に当たり丁寧なご指導と助言を賜りました。また、同大学名誉教授山名伸樹博士には学位取得を奨めていただくとともに、論文のとりまとめにあたって適切なご指導や温かい激励を賜りました。ここに厚くお礼申し上げます。

本開発研究の実施には、第Ⅱ章と第Ⅲ章に関しては、開発機の試作に(有)沢田機工、(株)光荣鉄工所、(株)福本ボデー、(株)和田オートマチック高松支店の各社に多大なご協力を頂きました。第Ⅳ章に関しては、中セキ四国(株)香川支社に供試機の貸出しを始め貴重なご提案を頂きました。また、アップカット耕による畝立てが地温と冬どりレタスの収量に及ぼす影響の研究に関しては、その結果考察に当たり農業生産技術管理学会編集部の論文閲読者に有益なコメントとご指導を頂きました。開発機の現地適応性試験には、レタス生産農家や香川県農協に多大なご協力を頂きました、さらに香川県中讃・西讃農業改良普及センターには本研究の発端となる貴重な情報を頂くとともに開発機の現地適応性試験に多大なご協力とご助言を頂きました。そして全研究を通じ、香川県農業試験場の各位には貴重なご提案とご協力を頂きました。

末尾ながら、以上の皆様方に深く感謝し、心よりお礼を申し上げます。次第です。

摘要

1～3月の冬どり出荷を特徴とする香川県内のレタス栽培において、作業技術面の課題解決のため3つの技術開発研究を行った。

その1つは「半自動多条移植機の開発」である。本機は、試作した移植ユニットを軽量の畝間走行台車に搭載したもので、移植精度は正常植率93.4%と安定しており、2人作業による移植作業能率は4.0h/10aで手植え作業の1.4倍であった。また、手植え作業に比べて作業姿勢が改善でき、軽作業化に有効であった。開発機はその後、移植部ヒンジ・レバークラッチのヒンジ点を“くの字”状とすることや移植カップの開閉にもヒンジ・レバーを用いる改良より移植精度が向上した。さらに、開発機利用時に灌水作業を同時化することにより移植延べ作業時間は2.0%増加したものの、後の灌水作業時間3.8人時/10aを省略することができた。

その2つは、「トンネル支柱打込み装置の開発」である。支柱の供給が自動の全自動型と手動供給の半自動型を開発した。全自動型は広幅高畝4条のレタス栽培に適合して長さ1.8～2.4m、直径7.5～9.0mmのグラスファイバ製支柱を1本ずつ繰り出して畝に等間隔で打込むことができる。幅1.8mのレタス畝に対する打込みミスは0.6～2.8%みられたものの、作業能率は、作業速度0.20m/sにおいて、1.0h/10aであり、慣行手作業の3.6倍であった。また、半自動型は長さ2.1～2.4m、直径11mmで、間口1.4～1.6mのU字型鋼管製支柱を打ち込むことができる。打込み作業能率は3.0h/10aで、1人作業が可能な畝条件であれば、延べ作業時間は慣行手作業の71.4～83.3%に短縮された。

その3つは「アップカット耕うん畝立て施肥マルチ敷設機の開発」である。本機を利用した畝では、慣行の一輪管理機や既存の小型畝立て機（ダウンカット耕）による畝に比べて畝表層部の碎土率が高く、夾雑物の鋤込み性に優れ、機械化移植におけるレタス苗移植精度の確保に有効で、レタスは増収した。また、畝立て作業能率は、事前耕うんおよびマルチ上への培土作業を含めた延べ作業時間で3.3人時/10aとなり、既存の小型畝立てマルチ敷設機を中心とした方法に比べ39%の時間短縮が図れた。この時間短縮の要因は主にアップカットロータリ利用によって事前耕うんの回数を低減できた点にあった。なお、アップカット耕による畝立てではマルチ敷設下の畝表層地温がダウンカットに比べて高くなる傾向がみられたが、その理由を調査したところ、アップカット耕では畝表層の碎土率が高く土壌水分が低いことがその理由としてあげられ、結果としてレタスの増収に繋がったと考えられた。

本研究で開発した機械装備を組み合わせた新作業体系によるレタス栽培の延べ作業時間は、慣行 219 人時/10a に対して 205～212 人時/10a となり、3～6%短縮したにすぎなかったが、作業強度や姿勢負担度が大きく軽減され、軽作業化とレタス増収に有効であった。

SUMMARY

This three-part study was conducted to develop technologies for overcoming problems related to labor saving in lettuce cultivation in Kagawa Prefecture, which has a winter harvest from January to March.

The first part of the study was to develop a semi-automatic multi-row transplanter. The device consists of a prototype transplanter mounted on a lightweight furrow-traveling carriage. The transplanting accuracy (percentage of satisfactory transplants) was stable at 93.4%, and transplanting efficiency with two operators was 4.0 h/10a, which is 1.4 times more efficient than manual transplanting. In addition, the physical strain of operating the device was much lower than that of manual transplanting. Thus, the device is also effective in reducing workload. Subsequent improvements to the device, including the use of a bent hinge point for the hinge lever clutch of the transplanting unit and the use of a hinge lever for opening and closing the transplanting cup, have further increased transplanting accuracy. Finally, although combining plant watering with transplanting using the device increases work time by 2.0%, doing so eliminates the need for watering later, saving 3.8 person-hours per 10a.

The second part was on the development a tunnel support driver. Both a fully automatic (auto-feed) device and a semi-automatic (manual-feed) device were developed. The fully automatic device is suitable for 4-row, high-ridge lettuce cultivation and is capable of driving fiberglass tunnel supports measuring between 1.8 and 2.4 m in length and 7.5 to 9.0 mm in diameter into ridges one at a time at fixed intervals. Although the miss-rate for driving supports into 1.8-m wide lettuce ridges was between 0.6% and 2.8%, work efficiency at a work speed of 0.20 m/s was 0.9 h/10a, which is 3.6 times more efficient than manual work. The semi-automatic device is capable of installing U-shaped steel-rod tunnel supports measuring between 1.4 and 1.6 m in width, 2.1~2.4 m in length, and 11 mm in diameter. The work efficiency is 3.0 h/10a. For ridge conditions that allow the device to be operated by one worker, total work time is reduced by 71.4~83.3% relative to customary manual work.

The third part of this study was on the development of an up-cut tilling, fertilizer spraying, mulch sheet laying ridger. Compared to ridges created with a conventional single-wheel tiller or existing small down-cut ridgers, the ridges created with this device exhibited greater pulverization of the ridge surface layer, more thorough incorporation of residual rice straw,

improved lettuce transplanting accuracy using mechanical transplanters, and higher lettuce yield. In terms of work efficiency, total work time including pre-tillage work and soil cultivation work for laying mulch sheets on ridges was 3.3 person-hours per 10a, representing a 39% reduction in labor compared to the conventional work using existing small mulch sheet laying ridgers. This time savings was primarily attributable to the use of an up-cut rotary tiller, which reduced the number of preparatory tilling passes required. Ridge surface temperatures under the mulch sheet tended to be higher for ridges created using the up-cut tiller compared to those created using a down-cut tiller. Further investigation revealed that this was due to greater pulverization and lower moisture content of surface soil of ridges created using the up-cut tiller, which likely led to improved lettuce yield.

The total work time for the lettuce cultivation system using a combination of all three devices developed in this research was 205~212 person-hours per 10a, compared to 219 person-hours per 10a for conventional cultivation. Although the time reduction amounted to only 3~6%, the devices substantially reduced work intensity and the physical burden on workers and were thus effective in reducing workload and increasing lettuce yield.

学位論文の基礎となる学会誌公表論文のリスト

第Ⅱ章・第1節

- ◎山浦浩二・高田憲彰・内藤和男，2013，野菜用半自動多条移植機における移植ユニットの改良，農業生産技術管理学会誌，19(4)，119～124

第Ⅲ章・第1節

- ◎山浦浩二・西村融典・十川和士，2002，ビニルトンネル用全自動支柱打込み装置の開発，農業生産技術管理学会誌，9(2)，133～139

第Ⅲ章・第2節

- ◎山浦浩二・谷本充宏・内藤和男，2014，軽量型電動トンネル支柱打込み装置の開発，農業生産技術管理学会誌，21(1)，15～20

第Ⅳ章・第3節

- ◎山浦浩二・西村融典・白井英治，2015，アップカット耕うんによる畝立てが地温と冬どりレタスの収量に及ぼす影響，農業生産技術管理学会誌，22(2)，41～49